



BERNARDO DIAS SÃO JOSÉ

**AVALIAÇÃO DE RELÉS DE DISTÂNCIA PARA  
LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES DE  
DISTRIBUIÇÃO**

**CAMPINAS  
2013**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação**

**BERNARDO DIAS SÃO JOSÉ**

**“AVALIAÇÃO DE RELÉS DE DISTÂNCIA PARA  
LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES DE  
DISTRIBUIÇÃO”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de Energia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Madson Cortes de Almeida

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO  
DEFENDIDA PELO ALUNO BERNARDO DIAS SÃO JOSÉ  
E ORIENTADO PELO PROF. DR. MADSON CORTES DE ALMEIDA

---

**CAMPINAS**

**2013**

iii

So1a São José, Bernardo Dias, 1987-  
Avaliação de relés de distância para localização de faltas em redes de distribuição / Bernardo Dias São José. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Madson Cortes de Almeida.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Energia elétrica - Distribuição. 2. Localização de falhas (Engenharia). I. Almeida, Madson Cortes de, 1973-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Evaluation of distance relay for fault location on distribution systems

**Palavras-chave em inglês:**

Electric power distribution

Fault location (Engineering)

**Área de concentração:** Energia Elétrica

**Titulação:** Mestre em Engenharia Elétrica

**Banca examinadora:**

Madson Cortes de Almeida [Orientador]

Igor Kopcak

Luiz Carlos Pereira da Silva

**Data de defesa:** 26-11-2013

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Elétrica

## COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

**Candidato:** Bernardo Dias São José

**Data da Defesa:** 26 de novembro de 2013

**Título da Tese:** "Avaliação de Relés de Distância para Localização de Falhas em Redes de Distribuição"

Prof. Dr. Madson Cortes de Almeida (Presidente):

Prof. Dr. Igor Kopcak:

Prof. Dr. Luiz Carlos Pereira da Silva:



*Dedico esta pequena conquista a Álvaro, Roseli, Catarina, Júlia, Glória e Matheus.*



## AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me dar forças e saúde e me fazer acreditar que é possível.

Ao meu pai (Álvaro), minha mãe (Roseli), e meus irmãos (Catarina, Júlia, Glória e Matheus), pelo amor e incentivo.

Aos meus sobrinhos Otávio e Daniel.

À minha tia/amiga Meloca e sua família, pelo enorme carinho e apoio.

Às minhas avós Alzira e Brígida.

Ao Prof. Dr. Madson Cortes de Almeida, pela orientação, atenção e disponibilidade no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Luiz Carlos Pereira da Silva e Carlos Alberto de Castro Jr. pela orientação no programa de estágio docência (PED) e ensinamentos não só acadêmicos mas também pessoais.

A todos os amigos do DSEE, em especial Fabiano, Victor, Paulo e Rafael, por terem contribuído direta e indiretamente com o desenvolvimento desse trabalho.

Às amizades feitas nesse período de mestrado, em especial Yuri, Oriana, Vanessa, Márcio, Gustavo e Ricardo.

Aos meus amigos de longa data: Talita, Juliana, Manu, Ivan, Remy, Leandro, Breno, Fernanda e Karole, por sempre terem participado das etapas da minha vida.

Às secretárias Giane, Noêmia e Mazé pela agradável convivência.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior, pelo apoio financeiro.



*“Eu sei de muito pouco. Mas tenho a meu favor tudo o que não sei.”*  
Clarice Lispector



## RESUMO

O emprego de técnicas de localização de faltas em sistemas de energia elétrica permite melhorar a qualidade da energia entregue pelas concessionárias ao mesmo tempo em que aumentam a confiabilidade dos sistemas de energia. Atualmente, os relés de distância estão entre as técnicas automáticas mais simples para a localização de faltas em sistemas de energia elétrica. Esses relés são capazes de estimar a distância entre o seu local de instalação e a falta. Os primeiros relés de distância foram desenvolvidos para a localização de faltas em linhas de transmissão, entretanto, na literatura é possível encontrar um grande número dessas metodologias voltadas às redes de distribuição de energia elétrica. Os relés de distância geralmente requerem apenas os fasores de tensão e corrente medidos pelo relé na subestação e parâmetros típicos das redes, tais como: tipos de cabos, configurações, comprimentos das linhas e, eventualmente, cargas. O que diferencia os relés de distância são o mecanismo de cálculo da posição da falta, o conjunto de dados requeridos e, conseqüentemente, a precisão da localização.

No caso do Brasil, a maioria das concessionárias distribuidoras de energia utiliza somente a triagem de chamadas telefônicas dos consumidores para fazer a localização das faltas. Esta solução se deve a baixa automação dos sistemas e, principalmente, a deficiência na integração entre medidores e os sistemas SCADA. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo de diferentes metodologias de relés de distância para a localização de faltas em sistemas de distribuição de energia elétrica. As técnicas estudadas foram selecionadas considerando o desempenho relatado na literatura e o tratamento dado às cargas. As técnicas selecionadas utilizam aproximações para as cargas, calculadas a partir das medidas realizadas na subestação ou desprezam completamente as cargas. Esta escolha se justifica, pois as cargas geralmente não estão disponíveis com precisão aceitável. Nos testes serão considerados os seguintes aspectos: (a) posição da falta, (b) resistência de falta, (c) carregamento da rede, (d) tipo da falta e (e) a presença de geradores distribuídos. Além disso, serão realizados testes nas redes de 21 e 134 barras do IEEE, originalmente apresentadas nas referências [1] e [2]. A rede de 21 barras foi utilizada, pois é a mais adotada na literatura para avaliar relés de distância e a rede de 134 foi utilizada, pois apresenta características como número de ramais e impedâncias das cargas e dos ramos muito diferentes das observadas na rede de 21 barras. Assim, o principal objetivo desta dissertação é avaliar os relés de distância em condições mais realistas do que aquelas apresentadas na literatura.

**Palavras-Chave:** Geração Distribuída (GD), Localização de Faltas, Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica e Relé de Distância.



## ABSTRACT

The use of techniques of fault location in electric power systems allows to improve power quality delivered by utilities and at the same time increase the reliability of power systems. Currently, distance relays are among the simplest automatic techniques for fault location in electric power systems. These relays are capable of estimating the distance between its installation site and fault. The first distance relays have been developed for fault location in transmission lines, however, in the literature it is possible find a great number of these methodologies for distribution networks. Distance relays generally require only the phasor voltage and current measured by the relay in the substation and typical parameters of the networks, such as cable types, configurations, lengths of lines and eventually loads. What differentiate the distance relays is the mechanism for calculating the position of the fault, data set required and consequently the accuracy of localization.

In Brazil, most of the energy distribution concessionaires uses only screening phone calls from consumers to make the location of faults. This solution is due to low automation systems, and especially the deficient integration between meters and SCADA systems. In this context, this paper presents a study of different methods of distance relays for fault location in power distribution systems. The techniques were selected considering the performance reported in the literature and the treatment of loads. The selected techniques use approximations to the loads, calculated from measurements performed in the substation or completely despise loads. This choice is justified because the loads are generally not available with acceptable accuracy. The tests will be considered the following aspects: (a) position of the fault, (b) fault resistance, (c) the network load, (d) type of fault and (e) the presence of distributed generators. In addition, tests will be performed on the networks of 21 and 134 bars of IEEE, originally presented in references [1] and [2]. A network of 21 bars was used because it is the most widely adopted in the literature to evaluate the distance relays and the network of 134 was used, because it has features like number of branches and impedance loads and branches very different from those observed in the network of 21 bars. Thus, the main objective of this dissertation is to evaluate the distance relays under more realistic conditions than those presented in the literature.

**Key words:** Distributed Generation (DG), Fault Location, Electric Power Distribution Systems and Distance Relay.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Sinal de tensão nas fases A, B e C, sob ocorrência de uma falta no sistema de 21 barras. ....  | 8  |
| Figura 2.2 – Sinal de corrente nas fases A, B e C, sob ocorrência de uma falta no sistema de 21 barras.....   | 8  |
| Figura 2.3 – Principais etapas para a determinação da distância de falta.....   | 9  |
| Figura 2.4 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com cargas (ZC) e falta.....   | 10 |
| Figura 2.5 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, sem os ramais laterais após a seção com falta.....   | 11 |
| Figura 2.6 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, sem os ramais laterais após a seção com falta e carga na extremidade do circuito.....  | 11 |
| Figura 2.7 – Representação de tipos de faltas. ....   | 12 |
| Figura 2.8 – Circuito para verificação do impacto da resistência de falta. ....   | 13 |
| Figura 2.9 – Diagrama R-X da impedância (Z) calculada pelo relé de distância ([28]). ....   | 13 |
| Figura 2.10 – Circuito para verificação do impacto da GD. ....  | 14 |
| Figura 2.11 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com falta aplicada entre as barras 6 e 7. ....  | 15 |
| Figura 2.12 – Ramais principais para uma falta entre as barras 6 e 7, fase B, sistema de 21 barras.....   | 16 |
| Figura 2.13 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com falta aplicada entre as barras 6 e 7 e indicadores de faltas nas entradas dos ramais laterais.....  | 17 |
| Figura 3.1 – Circuito usado para o cálculo aproximado das impedâncias da carga. ....  | 20 |
| Figura 3.2 – Princípio de funcionamento do Método de Espanha. ....  | 21 |
| Figura 3.3 – Princípio de funcionamento do método de Novosel. ....  | 23 |
| Figura 3.4 – Circuito sobreposto para a falta que ocorreu na Figura 3.3. ....   | 25 |
| Figura 3.5 – Princípio de funcionamento do método de Yang.....  | 27 |
| Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do método de Warrington.....  | 32 |
| Figura 4.1 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com os locais das faltas identificados por “X”.....  | 36 |
| Figura 4.2 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV, com os locais das faltas identificados por “X”.....   | 37 |
| Figura 4.3 – Erros de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 21 barras. ....   | 39 |
| Figura 4.4 – Erros de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 21 barras. ....  | 40 |
| Figura 4.5 – Erros de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 134 barras. ....  | 41 |
| Figura 4.6 – Erros de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 134 barras. ....   | 42 |
| Figura 4.7 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras – Dados retirados das tabelas: A.01., A.29., A.57., A.85., A.113.. ....   | 44 |
| Figura 4.8 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras – Dados retirados das tabelas: A.11., A.39., A.67., A.95., A.123.. ....  | 46 |
| Figura 4.9 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras – Dados retirados das tabelas: A.02., A.30., A.58., A.86., A.114.. ....  | 47 |
| Figura 4.10 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras – Dados retirados das tabelas: A.12., A.40., A.68., A.96., A.124.. ....  | 48 |
| Figura 4.11 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.03., A.31., A.59., A.87., A.115. e A.09., A.37., A.65., A.93., A.121.. .... | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.12 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.13., A.41., A.69., A.97., A.125. e A.15., A.43., A.71., A.99., A.127.....                                     | 51 |
| Figura 4.13 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.04., A.32., A.60., A.88., A.116. e A.10., A.38., A.66., A.94., A.122.....                                   | 52 |
| Figura 4.14 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.14., A.42., A.70., A.98., A.126. e A.16., A.44., A.72., A.100., A.128.....                                   | 53 |
| Figura 4.15 – Sistema exemplo de 3 barras.....   | 55 |
| Figura 5.1 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível pequeno de penetração de geração distribuída (GD-1).....  | 58 |
| Figura 5.2 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível elevado de penetração de geração distribuída (GD-1 e GD-2).....   | 59 |
| Figura 5.3 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível pequeno de penetração de geração distribuída (GD-1).....   | 59 |
| Figura 5.4 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível elevado de penetração de geração distribuída (GD-1 e GD-2).....  | 60 |
| Figura 5.5 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias e sistema de 21 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.17., A.45., A.73., A.101., A.129..   | 61 |
| Figura 5.6 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias e sistema de 21 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.23., A.51., A.79., A.107., A.135..  | 62 |
| Figura 5.7 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias e sistema de 134 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.18., A.46., A.74., A.102., A.130..  | 63 |
| Figura 5.8 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias e sistema de 134 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.24., A.52., A.80., A.108., A.136..   | 64 |
| Figura 5.9 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.19., A.47., A.75., A.103., A.131.....   | 65 |
| Figura 5.10 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.25., A.53., A.81., A.109., A.137.....   | 65 |
| Figura 5.11 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.20., A.48., A.76., A.104., A.132.....   | 66 |
| Figura 5.12 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.26., A.54., A.82., A.110., A.138.....  | 67 |
| Figura 5.13 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação nos Carregamentos Nominais (CN) – Dados retirados das tabelas: A.21., A.49., A.77., A.105., A.133. e A.22., A.50., A.78., A.106., A.134... | 68 |
| Figura 5.14 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação nos Carregamentos Nominais (CN) – Dados retirados das tabelas: A.27., A.55., A.83., A.111., A.139. e A.28., A.56., A.84., A.112., A.140...  | 69 |
| Figura 5.15 – Sistema exemplo de 3 barras.....   | 73 |

|  |    |
|--|----|
| Figura An.1 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV.....    | 85 |
| Figura An.2 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV..... | 86 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1.1 – Principais aspectos considerados nas metodologias de localização de faltas em sistemas de distribuição [4], modificada..  | 03 |
| Tabela 3.1 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Novosel.   | 27 |
| Tabela 3.2 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Yang.  | 29 |
| Tabela 3.3 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Girgis.  | 31 |
| Tabela 3.4 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Warrington.  | 33 |
| Tabela 4.1 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ), para teste na variação da $R_f$ .  | 44 |
| Tabela 4.2 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ), para teste na variação no carregamento nominal.  | 49 |
| Tabela 4.3 – localização de falta monofásica estimada pelas cinco metodologias, sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 e 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema (CN) – Dados retirados das tabelas: A.05., A.33., A.61., A.89., A.117. e A.07., A.35., A.63., A.91., A.119. | 50 |
| Tabela 4.4 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos mantêm bom desempenho, para a variação na $R_f$ em 5, 20, 40 e 60 $\Omega$ (faltas monofásicas) e 1 e 5 $\Omega$ (faltas trifásicas).   | 54 |
| Tabela 4.5 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos mantêm bom desempenho, quando há variação no carregamento nominal dos sistemas em 175%.   | 54 |
| Tabela 5.1 – Níveis de geração distribuída (GD) em que os métodos mantêm bom desempenho (denominados como “ok”), resistência de falta de 5 $\Omega$ (faltas monofásicas) e 1 $\Omega$ (faltas trifásicas), para os sistemas de 21 e 134 barras operando com carga nominal.                               | 71 |
| Tabela 5.2 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos mantêm bom desempenho (denominados como “ok”), para os sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2.  | 71 |
| Tabela 5.3 – Síntese do Item 3, Teste 2 – Valores de carregamento nominal (CN) em que os métodos mantêm bom desempenho (denominados como “ok”), para os sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e resistência de falta de 5 $\Omega$ (faltas monofásicas) e 1 $\Omega$ (faltas trifásicas). | 72 |
| Tabela A.01 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.  | 93 |
| Tabela A.02 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.   | 93 |
| Tabela A.03 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.   | 94 |
| Tabela A.04 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.  | 94 |
| Tabela A.05 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.  | 95 |
| Tabela A.06 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.   | 95 |
| Tabela A.07 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.  | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.08 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 96  |
| Tabela A.09 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 97  |
| Tabela A.10 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 97  |
| Tabela A.11 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....   | 98  |
| Tabela A.12 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....  | 98  |
| Tabela A.13 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 99  |
| Tabela A.14 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 99  |
| Tabela A.15 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 100 |
| Tabela A.16 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 100 |
| Tabela A.17 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.....  | 101 |
| Tabela A.18 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2..... | 101 |
| Tabela A.19 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 102 |
| Tabela A.20 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 102 |
| Tabela A.21 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento. ....  | 103 |
| Tabela A.22 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento. ....   | 103 |
| Tabela A.23 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....            | 104 |
| Tabela A.24 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.....            | 104 |
| Tabela A.25 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.26 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.....          | 105 |
| Tabela A.27 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento.....  | 106 |
| Tabela A.28 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento..... | 106 |
| Tabela A.29 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ...                   | 107 |
| Tabela A.30 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta..                     | 107 |
| Tabela A.31 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....      | 108 |
| Tabela A.32 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....     | 108 |
| Tabela A.33 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....     | 109 |
| Tabela A.34 – Localização de falta monofásica estimada pelo método Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....       | 109 |
| Tabela A.35 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....     | 110 |
| Tabela A.36 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....    | 110 |
| Tabela A.37 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....     | 111 |
| Tabela A.38 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....    | 111 |
| Tabela A.39 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....                             | 112 |
| Tabela A.40 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....                            | 112 |
| Tabela A.41 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....                | 113 |
| Tabela A.42 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....               | 113 |
| Tabela A.43 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....                | 114 |
| Tabela A.44 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....               | 114 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela A.45 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 Ω e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.....  | 115 |
| Tabela A.46 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 Ω e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2..... | 115 |
| Tabela A.47 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 116 |
| Tabela A.48 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 116 |
| Tabela A.49 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 Ω e variação no carregamento. ....  | 117 |
| Tabela A.50 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 Ω e variação no carregamento. ....   | 117 |
| Tabela A.51 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 Ω e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....            | 118 |
| Tabela A.52 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 Ω e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.....            | 118 |
| Tabela A.53 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 119 |
| Tabela A.54 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 119 |
| Tabela A.55 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 Ω e variação no carregamento. ....   | 120 |
| Tabela A.56 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 Ω e variação no carregamento. ....  | 120 |
| Tabela A.57 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ..  | 121 |
| Tabela A.58 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....   | 121 |
| Tabela A.59 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 122 |
| Tabela A.60 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 122 |
| Tabela A.61 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 Ω e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.62 – Localização de falta monofásica estimada pelo método Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. .  | 123 |
| Tabela A.63 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 124 |
| Tabela A.64 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 124 |
| Tabela A.65 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 125 |
| Tabela A.66 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 125 |
| Tabela A.67 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....  | 126 |
| Tabela A.68 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....   | 126 |
| Tabela A.69 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 127 |
| Tabela A.70 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 127 |
| Tabela A.71 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 128 |
| Tabela A.72 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 128 |
| Tabela A.73 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....  | 129 |
| Tabela A.74 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. .... | 129 |
| Tabela A.75 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 130 |
| Tabela A.76 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 130 |
| Tabela A.77 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento. ....   | 131 |
| Tabela A.78 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento. ....  | 131 |
| Tabela A.79 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....             | 132 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.80 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2..... | 132 |
| Tabela A.81 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.....  | 133 |
| Tabela A.82 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.....   | 133 |
| Tabela A.83 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento.....   | 134 |
| Tabela A.84 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento.....  | 134 |
| Tabela A.85 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ..   | 135 |
| Tabela A.86 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.   | 135 |
| Tabela A.87 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....   | 136 |
| Tabela A.88 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....  | 136 |
| Tabela A.89 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....  | 137 |
| Tabela A.90 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....   | 137 |
| Tabela A.91 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....  | 138 |
| Tabela A.92 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....   | 138 |
| Tabela A.93 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....  | 139 |
| Tabela A.94 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....   | 139 |
| Tabela A.95 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.....   | 140 |
| Tabela A.96 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.....  | 140 |
| Tabela A.97 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema.....  | 141 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela A.98 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 141 |
| Tabela A.99 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 142 |
| Tabela A.100 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 142 |
| Tabela A.101 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....  | 143 |
| Tabela A.102 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. .... | 143 |
| Tabela A.103 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 144 |
| Tabela A.104 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 144 |
| Tabela A.105 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento. ....   | 145 |
| Tabela A.106 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento. ....  | 145 |
| Tabela A.107 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....             | 146 |
| Tabela A.108 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....            | 146 |
| Tabela A.109 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 147 |
| Tabela A.110 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 147 |
| Tabela A.111 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento. ....  | 148 |
| Tabela A.112 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento. ....   | 148 |
| Tabela A.113 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....   | 149 |
| Tabela A.114 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....  | 149 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.115 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 150 |
| Tabela A.116 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 150 |
| Tabela A.117 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 151 |
| Tabela A.118 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 151 |
| Tabela A.119 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 152 |
| Tabela A.120 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 152 |
| Tabela A.121 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 153 |
| Tabela A.122 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 153 |
| Tabela A.123 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....   | 154 |
| Tabela A.124 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta. ....  | 154 |
| Tabela A.125 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 155 |
| Tabela A.126 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 155 |
| Tabela A.127 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....  | 156 |
| Tabela A.128 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação do carregamento nominal do sistema. ....   | 156 |
| Tabela A.129 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. .. | 157 |
| Tabela A.130 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.   | 157 |
| Tabela A.131 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....   | 158 |
| Tabela A.132 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta. ....  | 158 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.133 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento.....   | 159 |
| Tabela A.134 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5 $\Omega$ e variação no carregamento.....  | 159 |
| Tabela A.135 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. ....  | 160 |
| Tabela A.136 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1 $\Omega$ e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2. .... | 160 |
| Tabela A.137 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.....   | 161 |
| Tabela A.138 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.....  | 161 |
| Tabela A.139 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento.....  | 162 |
| Tabela A.140 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1 $\Omega$ e variação no carregamento.....   | 162 |



## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| 1.1   | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 3  |
| 1.2   | OBJETIVOS .....   | 6  |
| 2     | ASPECTOS GERAIS DE LOCALIZAÇÃO DE DEFEITOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO .....         | 7  |
| 2.1   | TRATAMENTO DAS CARGAS NOS RELÉS DE DISTÂNCIA.....                                 | 10 |
| 2.2   | TIPOS DE FALTAS .....   | 11 |
| 2.3   | RESISTÊNCIA DE FALTA.....   | 12 |
| 2.4   | EFEITO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD).....   | 14 |
| 2.5   | O PROBLEMA DA MÚLTIPLA ESTIMAÇÃO.....   | 15 |
| 3     | MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE DEFEITOS BASEADOS EM IMPEDÂNCIA .....                   | 19 |
| 3.1   | MÉTODO DE ESPAÑA.....   | 19 |
| 3.2   | MÉTODO DE NOVOSEL .....   | 23 |
| 3.3   | MÉTODO DE YANG.....   | 27 |
| 3.4   | MÉTODO DE GIRGIS.....   | 29 |
| 3.5   | MÉTODO DE WARRINGTON.....   | 31 |
| 4     | ANÁLISE DOS RELÉS DE DISTÂNCIA SEM A PRESENÇA DE GD.....                          | 35 |
| 4.1   | INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO/LOCAL DA FALTA NO DESEMPENHO DOS RELÉS DE DISTÂNCIA .....   | 38 |
| 4.1.1 | Sistema de 21 barras.....   | 38 |
| 4.1.2 | Sistema de 134 barras.....  | 40 |
| 4.2   | INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DE FALTA NO DESEMPENHO DOS RELÉS DE DISTÂNCIA. ....     | 43 |
| 4.2.1 | Sistema de 21 barras.....   | 44 |
| 4.2.2 | Sistema de 134 barras.....  | 46 |
| 4.3   | INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO DOS SISTEMAS NO DESEMPENHO DOS RELÉS DE DISTÂNCIA..... | 48 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3.1 Sistema de 21 barras. ....  | 49 |
| 4.3.2 Sistema de 134 barras. ....   | 51 |
| 4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS SEÇÕES ANTERIORES.....                                       | 53 |
| 5 ANÁLISE DOS RELÉS DE DISTÂNCIA COM A PRESENÇA DE GD .....   | 57 |
| 5.1 INFLUÊNCIA DE DIFERENTES NÍVEIS DE PENETRAÇÃO DE GD NO DESEMPENHO DOS RELÉS. ....               | 60 |
| 5.1.1 Sistema de 21 barras. ....  | 61 |
| 5.1.2 Sistema de 134 barras. ....   | 62 |
| 5.2 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DE FALTA NO DESEMPENHO DOS RELÉS E SISTEMAS OPERANDO COM GD. ....     | 64 |
| 5.2.1 Sistema de 21 barras. ....  | 64 |
| 5.2.2 Sistema de 134 barras. ....   | 66 |
| 5.3 INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO DOS SISTEMAS NO DESEMPENHO DOS RELÉS, SISTEMAS OPERANDO COM GD. .... | 67 |
| 5.3.1 Sistemas de 21 e 134 barras, faltas monofásicas. ....   | 67 |
| 5.3.2 Sistemas de 21 e 134 barras, faltas trifásicas.....   | 69 |
| 5.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS SEÇÕES ANTERIORES.....                                       | 70 |
| 6 CONCLUSÃO.....  | 75 |
| 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....  | 76 |
| 6.2 PUBLICAÇÕES RESULTANTES DESTE TRABALHO .....  | 76 |
| REFERÊNCIAS.....  | 79 |
| ANEXO A – DESCRIÇÃO DAS REDES DE TESTE.....   | 85 |
| APÊNDICE A – RESULTADOS.....  | 91 |

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Entre os fatores que deterioram a qualidade da energia as interrupções no fornecimento são consideradas críticas. As interrupções estão associadas à ocorrência de defeitos (ou faltas) nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Esses defeitos causam interrupções momentâneas/temporárias e sustentadas/permanente e estão diretamente associados à elevação dos custos operacionais das concessionárias. Nesse contexto, a utilização de técnicas eficientes de localização de defeitos em redes de distribuição de energia pode contribuir significativamente para a melhoria dos índices de confiabilidade e para a qualidade da energia elétrica fornecida e, portanto, para a redução dos custos operacionais das concessionárias distribuidoras de energia elétrica. A localização precisa de faltas permanentes possibilita a restauração rápida do sistema e a localização de faltas temporárias pode ser usada para indicar pontos fracos da rede que requerem reforços ou manutenções.

Apesar da importância e dos impactos positivos que métodos eficientes de localização de faltas podem trazer, ainda é muito comum que concessionárias de distribuição utilizem mecanismos mais simples e menos precisos, entre os quais se destacam a triagem de chamadas telefônicas que permitem apenas a identificação de faltas permanentes.

A ocorrência de defeitos ou faltas em sistemas de distribuição de energia elétrica deve-se a diversos fatores, tais como: (a) condições climáticas adversas (e.g. vento e descargas atmosféricas), (b) contato das redes elétricas com animais ou árvores, (c) manutenção inadequada de equipamentos e (d) fim da vida útil dos equipamentos [3].

Entre as técnicas de localização automática de defeitos já propostas, aquelas baseadas no processamento de sinais de tensão (V) e corrente (I) coletados na subestação são as mais difundidas e, entre estas, destacam-se os relés digitais de distância. Os relés digitais de distância utilizam informações de tensões e correntes na frequência fundamental para calcular a impedância existente entre o local da falta e o local das medições, em seguida, esta impedância é convertida em distância utilizando a relação impedância por unidade de comprimento dos cabos. Por este motivo os relés de distância também são chamados de relés de impedância [4]. Apesar

do notável desenvolvimento dos relés de impedância voltados às linhas de transmissão de energia elétrica [5], [6] e [7], as metodologias desenvolvidas para os sistemas de distribuição ainda não são plenamente eficazes. Em geral, os seguintes aspectos dificultam a utilização dos relés de distância nas redes de distribuição: (a) a topologia radial das redes de distribuição contendo ramificações laterais, (b) as variações na topologia das redes de distribuição devido as suas possíveis reconfigurações, (c) a existência ou não de geradores distribuídos, (d) o desconhecimento dos níveis de carregamento das redes, (e) as seções de rede contendo condutores de diferentes bitolas e (f) o desconhecimento das impedâncias do sistema que se encontram a montante da subestação [8].

Para as redes de distribuição, os algoritmos de localização baseados em relés de distância podem utilizar dados medidos em um ou mais pontos da rede. Em geral, são usadas medidas de tensão e corrente obtidas na subestação, a topologia da rede, os parâmetros da rede e alguns métodos requerem o conhecimento das cargas. Normalmente, os métodos que utilizam menos medições requerem menos investimentos em comunicação e, portanto, são preferidos.

Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo de algoritmos de localização de faltas baseados em relés de distância que utilizam apenas medidas de tensões e correntes coletadas na subestação. Em geral, há outras medições realizadas nas redes, como, por exemplo, em religadores automáticos instalados no alimentador e em geradores distribuídos, entretanto, estas medidas dificilmente são coletadas e enviadas aos centros de controle.

Para avaliar a precisão dos relés de distância é necessário variar os seguintes parâmetros: (a) posição das faltas (localização), (b) a resistência das faltas, (c) o nível de carregamento dos sistemas e (d) o tipo das faltas. Além disso, é necessário testar os relés em redes com características distintas, como o número de laterais e a ordem de grandeza das impedâncias dos alimentadores. Estudos com estas características serão apresentados nesta dissertação.

Na próxima seção é realizado um breve levantamento dos principais algoritmos de relés de distância usados na localização de faltas em redes de distribuição.

## 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os relés de distância são as técnicas mais diretas para a localização de faltas em redes de distribuição. Eles requerem apenas os fasores de tensões e correntes medidas pelo relé e parâmetros típicos das redes tais como: tipos de cabos, topologia da rede, comprimentos das linhas e cargas. O que diferencia os relés de distância são o mecanismo de cálculo da posição da falta, o conjunto de dados requeridos e, conseqüentemente, a precisão da localização.

Os relés de distância mais relevantes já desenvolvidos para localização de faltas em redes de distribuição são apresentados na Tabela 1.1. Nesta tabela é apresentado um levantamento das características e dados requeridos por estes relés. Assim, por exemplo, há relés que utilizam diferentes modelos para as linhas de distribuição, os que modelam cargas em função das tensões e os que não requerem o conhecimento das cargas. Em geral, de acordo com os dados disponíveis há alguns métodos que podem ser aplicados. Dependendo das características da rede e da precisão das informações disponíveis há métodos com diferentes níveis de precisão. A seguir apresenta-se uma breve descrição de cada um dos métodos elencados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Principais aspectos considerados nas metodologias de localização de faltas em sistemas de distribuição [4], modificada.

| Aspecto analisado                 | Método de localização da falta |       |       |       |       |        |        |        |        |       |       |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                                   | [9]                            | [10]  | [11]  | [12]  | [5]   | [13]   | [14]   | [15]   | [16]   | [17]  | [18]  |
| Detecção e identificação da falta | x                              | x     | -     | x     | -     | -      | x      | x      | x      | -     | -     |
| Pré-falta                         | x                              | x     | x     | x     | -     | x      | x      | x      | x      | x     | -     |
| Durante a falta                   | x                              | x     | x     | x     | x     | x      | x      | x      | x      | x     | x     |
| Pós-falta                         | -                              | -     | -     | -     | -     | -      | x      | -      | -      | -     | -     |
| Componentes simétricas            | -                              | x     | x     | x     | x     | x      | -      | -      | x      | x     | -     |
| Componentes de fase               | x                              | -     | -     | -     | -     | -      | x      | x      | -      | -     | x     |
| Modelo da linha                   | curta                          | curta | curta | curta | curta | longa  | curta  | curta  | longa  | curta | curta |
| Modelo da carga                   | Z=cte                          | Z=cte | -     | -     | -     | Z=f(V) | Z=f(V) | Z=f(V) | Z=f(V) | Z=cte | -     |
| Não homogêneo                     | x                              | -     | -     | x     | -     | -      | x      | x      | x      | x     | x     |
| Sistema não balanceado            | x                              | -     | -     | -     | -     | -      | x      | x      | x      | -     | x     |
| Ramais laterais                   | -                              | -     | -     | x     | -     | -      | x      | x      | x      | -     | -     |
| Cargas                            | -                              | -     | -     | -     | -     | x      | x      | x      | x      | x     | x     |
| Informação adicional              | -                              | -     | -     | -     | -     | -      | x      | -      | x      | -     | -     |

X → ASPECTO CONSIDERADO; - → ASPECTO NÃO CONSIDERADO.

O método proposto por G. Morales-España *et al* [9] é iterativo. Nele o sistema de distribuição é percorrido a partir da subestação e supostos pontos sob falta são analisados. Em cada ponto suspeito é calculada uma reatância de falta e o ponto de menor reatância é o local com falta (defeito). Para determinar a reatância em cada um dos locais suspeitos o método determina a tensão e a corrente nesses pontos.

O método proposto por Novosel *et al* [10], assim como o proposto por G. Morales-España *et al* [9], usa valores aproximados das cargas do sistema. Para isso, consideram que todas as cargas do sistema são alocadas na extremidade dos circuitos. As cargas equivalentes nos dois métodos são obtidas usando valores de tensão e corrente pré-falta medidas na subestação. A forma pela qual fazem a compensação das cargas é aproximada, pois não utilizam as impedâncias ou potências das cargas e sim dados coletados na subestação. Esta forma de compensação é a mais recomendada quando os parâmetros das cargas são difíceis de serem obtidos, ou quando são imprecisos. O método proposto por Novosel *et al* [10] é direto (não iterativo). Neste método o equacionamento da posição da falta é realizado separando a parte real e imaginária das impedâncias a fim de excluir a resistência da falta das incógnitas, resultando em uma equação quadrática que é função das tensões e correntes medidas, das impedâncias das cargas, das impedâncias dos geradores (calculadas na subestação) e da impedância da linha por unidade de comprimento.

Os métodos de Yang *et al* [11], Girgis *et al* [12] e Warrington [5] são diretos e não usam em seus algoritmos informações das cargas. O método de Yang *et al* [11], assim como o Girgis *et al* [12], permite compensar o efeito da resistência de falta. O método proposto em Warrington [5], também conhecido como método da reatância, é a técnica mais simples de localizar faltas em redes de distribuição, pois requer apenas os sinais de tensão e corrente medidos na subestação e parâmetros das linhas. O método da reatância calcula uma reatância vista da subestação e a compara com a reatância por unidade de comprimento da linha, fornecendo uma distância até o ponto com falta sem considerar o efeito das cargas e da resistência de falta.

Os métodos apresentados em [13]-[18] utilizam dados das cargas em seus algoritmos. Os métodos propostos por Srinivasan *et al* [13] e R. Das *et al* [16] consideram modelos de linhas longas, enquanto os demais métodos da Tabela 1.1 usam modelos de linhas curtas. O método de Srinivasan *et al* [13] representa as linhas com parâmetros distribuídos.

O método proposto por Jun Zhu *et al* [14] é iterativo e utiliza representação em componentes de fase. O equacionamento da posição da falta é simples e se baseia em regras de solução de circuitos elétricos. Como variáveis desconhecidas têm-se a distância da falta, a corrente de falta e a resistência de falta.

O método de Aggarwal *et al* [15] é iterativo e utiliza componentes superpostos das tensões e correntes de fase. O equacionamento da posição da falta é realizado pela estimativa da tensão no ponto de incidência da falta, que é em função da distância da falta, dos parâmetros da linha, dos fasores de tensão e corrente superpostos medidos na subestação. A solução é obtida iterativamente, variando a posição da falta a um passo especificado. O algoritmo converge quando as tensões superpostas nas fases são tendem a zero. Nesta abordagem, é necessário calcular a cada iteração duas matrizes de impedâncias equivalentes correspondentes às impedâncias vistas à montante e a jusante do ponto da falta. Neste procedimento tanto os parâmetros da rede como os das cargas são requeridos.

O método de R. Das *et al* [16] considera tanto as cargas como as derivações laterais nos alimentadores. Uma estimativa do ramo/trecho suspeito é realizada a partir do método proposto em [5]. Partindo das constantes generalizadas dos elementos da rede, das tensões e correntes calculadas no início do trecho suspeito e das cargas, é possível obter as tensões e correntes no terminal remoto e as tensões e correntes de falta. A posição da falta é calculada diretamente a partir das tensões e correntes no ponto da falta. O cálculo do local da falta é iterativo. Apesar da implementação mais complexa, esta metodologia apresenta um desempenho global satisfatório desde que as cargas sejam conhecidas com boa precisão [4].

O método proposto por Saha M. *et al* [17] é direto e seu equacionamento considera a tensão medida na subestação, as impedâncias das linhas, das cargas e da resistência de falta. A equação de cálculo do local da falta é quadrática e após a separação de suas partes real e imaginária é possível calcular o local da falta. O método proposto por Myeon-Song Choi *et al* [18] estima a localização da falta através da comparação da impedância medida com a impedância calculada do alimentador, assumindo faltas em cada seção de linha [4].

## 1.2 OBJETIVOS

As principais metodologias de relés de distância para redes de distribuição foram sintetizadas anteriormente. Um dos principais aspectos que diferenciam essas metodologias é o tratamento dado às cargas. Enquanto algumas metodologias requerem o conhecimento preciso das cargas, outras utilizam aproximações calculadas a partir das medições realizadas nas subestações e as demais ignoram a presença das cargas.

Nesse contexto, devido ao fato das cargas introduzirem maior complexidade na implementação dos algoritmos e, principalmente, por as cargas não estarem disponíveis com precisão aceitável, esta dissertação estuda metodologias de relés de distância que não requerem o conhecimento preciso das cargas, ou seja, foram selecionados métodos que desprezam as cargas ou que utilizam aproximações para as cargas baseadas em grandezas medidas na subestação. Além disso, na seleção foi considerado o desempenho relatado na literatura. Desse modo, foram selecionados para estudo os métodos G. Morales-España *et al* [9], Novosel *et al* [10], Yang *et al* [11], Girgis *et al* [12] e Warrington [5].

Nos testes serão considerados os seguintes aspectos: (a) posição da falta, (b) resistência de falta, (c) carregamento da rede, (d) tipo da falta e (e) a presença de geradores distribuídos. Além disso, serão realizados testes nas redes de 21 e 134 barras do IEEE, originalmente apresentadas nas referências [1] e [2]. A rede de 21 barras foi utilizada, pois é a mais adotada na literatura para avaliar relés de distância e a rede de 134 foi utilizada, pois apresenta características como número de ramais e impedâncias das cargas e dos ramos muito diferentes das observadas na rede de 21 barras. Assim, o principal objetivo desta dissertação é avaliar os relés de distância em condições mais realistas do que aquelas apresentadas na literatura, revelando suas virtudes e deficiências, e capacidade de aplicação em redes reais.

No próximo capítulo são discutidos os aspectos gerais da localização de faltas em redes de distribuição. No Capítulo 3, os métodos estudados nesta dissertação são apresentados em detalhes. No Capítulo 4, apresentam-se testes e resultados nas redes de 21 e 134 barras sem a presença de geração distribuída. No Capítulo 5, apresentam-se testes e resultados nas redes de 21 e 134 barras na presença de geração distribuída. Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais desta dissertação.

## **CAPÍTULO 2**

### **ASPECTOS GERAIS DE LOCALIZAÇÃO DE DEFEITOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

Antes de aplicar as metodologias de localização de falta em redes de distribuição é necessário detectar a falta e classificá-la em monofásica, bifásica ou trifásica. A maioria dos mecanismos de detecção e classificação das faltas são baseados nos fasores das tensões e correntes medidos na subestação antes e durante a falta. Em geral, os mecanismos de detecção e classificação de faltas não são tratados na apresentação dos métodos de localização (como em [5], [9] e [11]) e, para tal, são utilizadas técnicas clássicas bastante consolidadas.

Durante uma falta, o regime de operação normal do sistema de energia é perturbado e estas perturbações se manifestam nas tensões e correntes medidas na subestação. A Figura 2.1 e a Figura 2.2 mostram sinais de tensão e corrente, respectivamente, tipicamente registrados em medidores da subestação de uma rede de distribuição de energia elétrica, dada ocorrência de um defeito. Neste exemplo a falta foi aplicada em torno de 0,07 segundos e extinta em 0,14 segundos. O período anterior a 0,07 segundos é chamado de período pré-falta, o período entre 0,07 segundos e 0,14 segundos é chamado de período de falta e o período após 0,14 segundos é o período pós-falta. Os métodos estudados e testados nesta dissertação localizam faltas permanentes e temporárias usando dados dos períodos pré-falta e durante falta. As faltas permanentes são aquelas que requerem a atuação das equipes de manutenção, enquanto que as faltas temporárias se auto extinguem.

Os relés de distância utilizam os fasores das tensões e correntes. Em [19], são apresentadas técnicas clássicas de extração dos fasores a partir dos sinais no tempo mostrados na Figura 2.1 e na Figura 2.2. Neste trabalho, os fasores das tensões e correntes foram obtidos através de um filtro de Fourier de um ciclo [20].

Das funções realizadas pelos relés de distância, a detecção da falta deve ser realizada em tempo real, já que ela é essencial para a proteção da rede. Ao contrário, a classificação e a localização da falta podem ser realizadas *off-line* e, portanto, podem ser implementadas em computadores alojados nas subestações ou nos centros de controle, desse modo, nenhum

hardware de relé foi avaliado nesta dissertação. Nesta dissertação serão estudados apenas os algoritmos de localização de faltas.

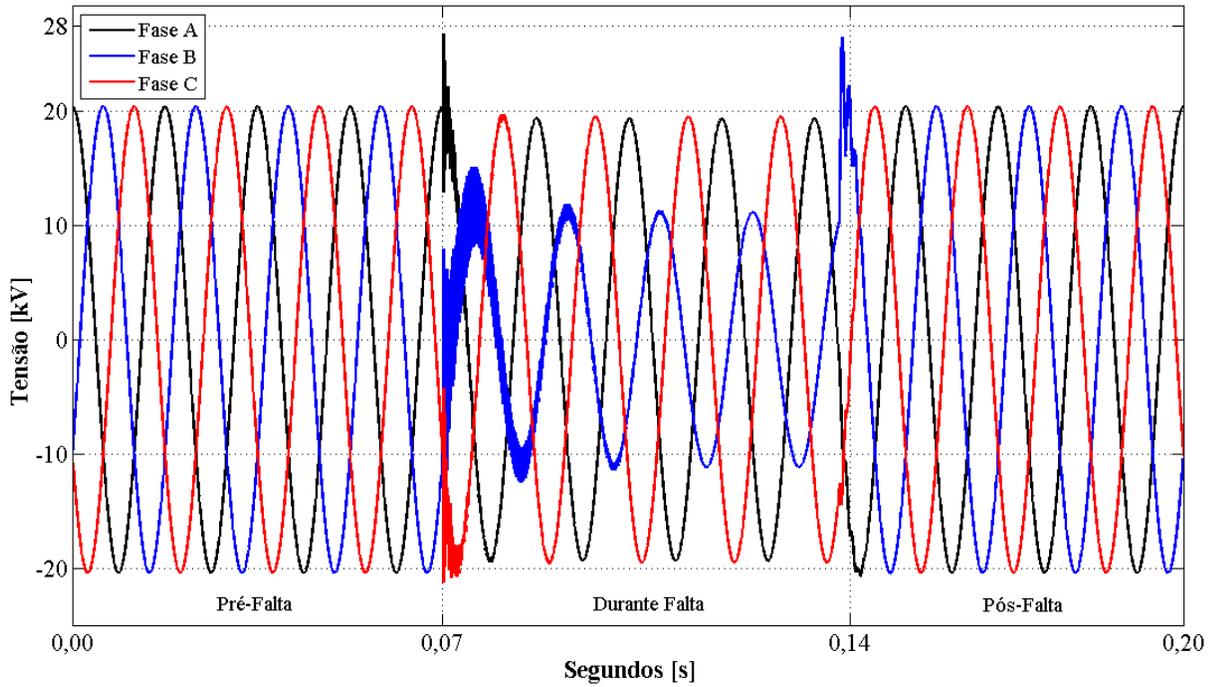


Figura 2.1 – Sinal de tensão nas fases A, B e C, sob ocorrência de uma falta no sistema de 21 barras.

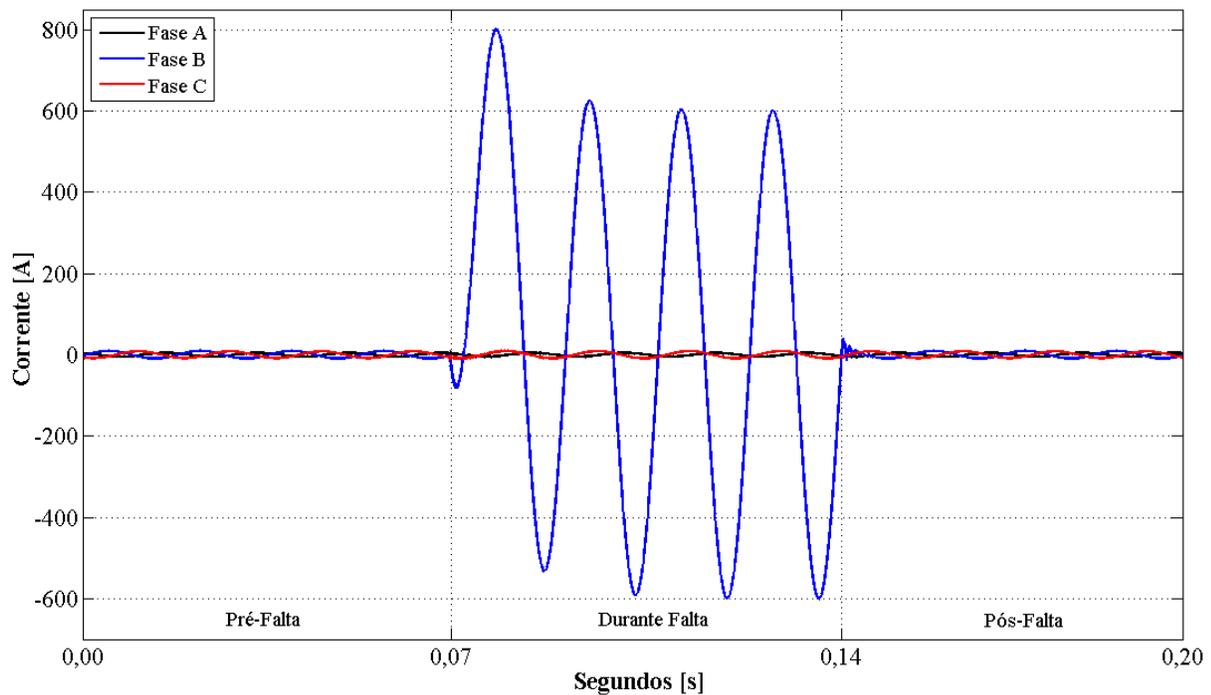


Figura 2.2 – Sinal de corrente nas fases A, B e C, sob ocorrência de uma falta no sistema de 21 barras.

Na literatura de localização de falta existem diferentes métodos para determinar a existência da falta e o seu tipo [1], [10], [21] e [22]. A maioria desses métodos detecta e classifica faltas analisando os módulos dos fasores das correntes medidas nas subestações. Para exemplificar, dos sinais de corrente da Figura 2.2 são obtidos três fasores. No intervalo de tempo entre zero e 0,07 segundos, tem-se os fasores de corrente pré-falta, entre 0,07 e 0,14 segundos os fasores de corrente durante falta e entre 0,14 e 0,20 segundos, os fasores de correntes pós-falta. Para os fasores de corrente extraídos durante a falta, observa-se que o módulo do fasor da corrente da fase B é maior que os módulos dos fasores de corrente nas fases A e C, os quais apresentam valores próximos às condições normais de operação. Assim, conclui-se que há uma falta monofásica na fase B. Adicionalmente, de acordo com a Figura 2.1, nota-se que durante a falta na fase B a tensão desta fase apresenta uma queda acentuada, enquanto que as tensões nas fases A e C sofrem alterações pouco significativas.

A Figura 2.3 apresenta um esquema contendo as tarefas tipicamente realizadas por relés de distância para localização da faltas. Note que esta dissertação se concentra na etapa 4.

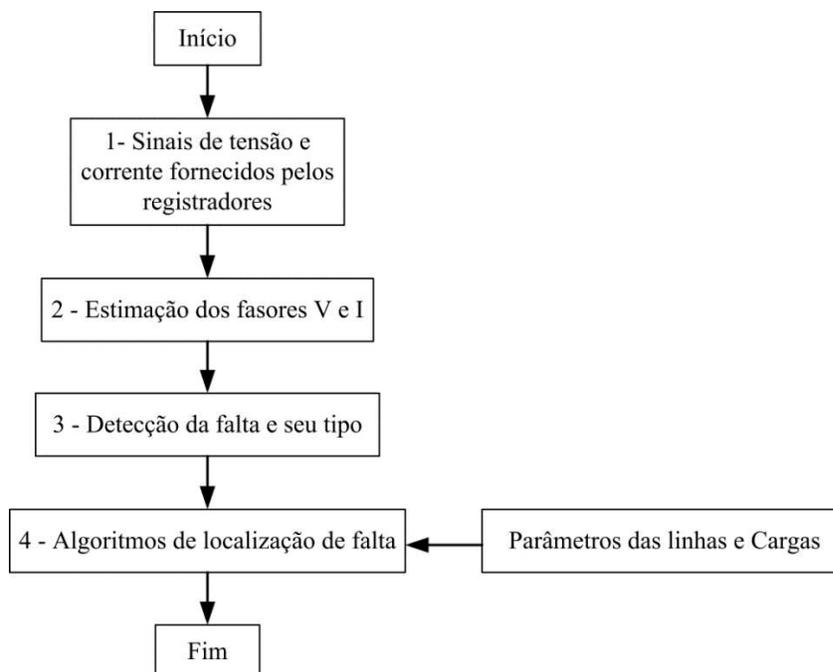


Figura 2.3 – Principais etapas para a determinação da distância de falta.

## 2.1 TRATAMENTO DAS CARGAS NOS RELÉS DE DISTÂNCIA

Muitos dos algoritmos de localização de falta usam os parâmetros das linhas e as cargas dos sistemas de distribuição. Nesta dissertação são estudadas apenas metodologias que não requerem o conhecimento das cargas, uma vez que estes dados, geralmente, contêm imprecisões significativas. Além disso, o tratamento das cargas pode tornar os métodos mais complexos e difíceis de serem implementados. Para ilustrar o tratamento tipicamente dado às cargas nos algoritmos de localização de faltas (implementados nos relés de distância (R)), a Figura 2.5 e Figura 2.6 mostram como o método de R. Das [1] trata as cargas durante uma falta no sistema de 21 barras, ilustrado na Figura 2.4.

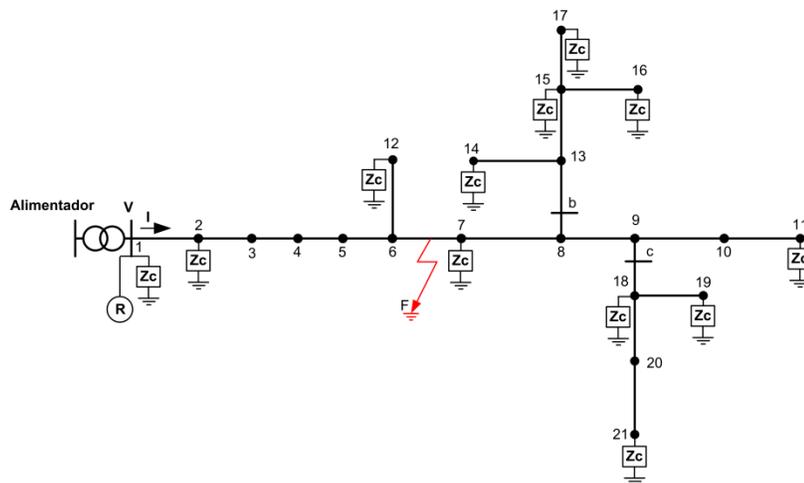


Figura 2.4 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com cargas ( $Z_C$ ) e falta.

O primeiro passo deste algoritmo é determinar à seção onde a falta ocorreu, que neste caso é a seção 6-7. Neste passo, as cargas não são consideradas. Em seguida, todos os ramais laterais após a seção sob falta são excluídos, e suas cargas são alocadas na barra que conecta o ramal lateral excluído com o alimentador principal, conforme é apresentado na Figura 2.5. Assim, por exemplo, as cargas das barras 14, 15, 16 e 17, que estão em um ramal lateral, foram somadas e alocadas na barra 8, que é a barra do ramal principal onde o ramal lateral removido estava conectado.

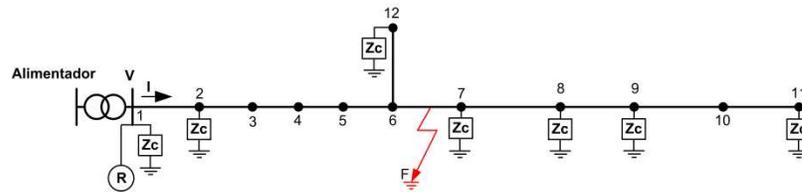


Figura 2.5 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, sem os ramos laterais após a seção com falta.

Excluídos os ramos laterais, todas as cargas dispostas entre a seção sob falta e a extremidade do ramo principal, são alocadas na extremidade do ramo principal, conforme mostra a Figura 2.6. De modo geral, todos os relés de distância usados na localização de faltas fazem um tratamento similar para as cargas a fim de viabilizar a determinação no local da falta. Em especial, a agregação das cargas na barra terminal do ramo principal é comum à maioria dos relés de distância. Portanto, imprecisões nas cargas tornarão as redes simplificadas ainda mais distantes da realidade, o que poderá deteriorar significativamente o desempenho das metodologias de localização de faltas.

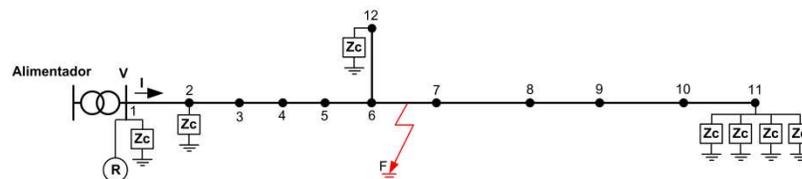


Figura 2.6 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, sem os ramos laterais após a seção com falta e carga na extremidade do circuito.

## 2.2 TIPOS DE FALTAS

Neste trabalho o estudo de metodologias de localização de falta foi realizado para faltas monofásicas e trifásicas, pois defeitos envolvendo uma e três fases são os que ocorrem com maior frequência nos sistemas elétricos de potência [3], [23] e [24]. A Figura 2.7 mostra uma representação desses tipos de falta.

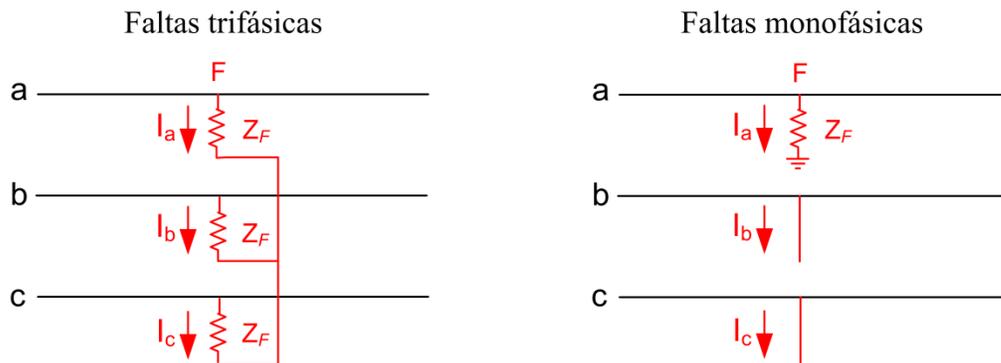


Figura 2.7 – Representação de tipos de faltas ([24]).

Todos os tipos de faltas, exceto faltas trifásicas, causam condições de desequilíbrio na operação dos sistemas de energia elétrica [1]. No caso de faltas desequilibradas, o uso da teoria de componentes simétricas ou a representação em componentes de fase permitem que se faça o tratamento conveniente dos desequilíbrios.

### 2.3 RESISTÊNCIA DE FALTA

Na Figura 2.7 estão representadas impedâncias de falta ( $Z_F$ ), entretanto, as impedâncias de faltas, geralmente, são puramente resistivas ( $R_F$ ) [25], ou seja, a reatância de uma falta é nula.

A resistência de falta é composta por duas componentes principais, a resistência do arco e a resistência da terra [26]-[27]. A resistência de falta ou é constante durante a falta ou varia com o tempo de alongamento do arco até a sua extinção final [1]. Para faltas entre fases, a resistência de falta é devida principalmente ao arco. Em faltas envolvendo a terra, a resistência de falta tem ambas as parcelas, a resistência do arco e a resistência da terra. A resistência do arco pode ser determinada de modo aproximado, pois ela é em função do comprimento do arco e da corrente de falta, ambos desconhecidos. O comprimento do arco pode ser inicialmente sugerido como o comprimento da distância entre as fases envolvidas [26]. A resistência de terra é um

somatório da resistência do caminho percorrido pela corrente na terra e da resistência de contato entre o condutor e a terra.

Os algoritmos dos relés de distância implementados e estudados neste trabalho, assim com os demais algoritmos baseados em impedância proposto na literatura, consideram que a impedância de falta é constante e puramente resistiva.

A Figura 2.8 mostra um falta em um determinado ponto de um circuito simplificado que representa uma rede de distribuição.

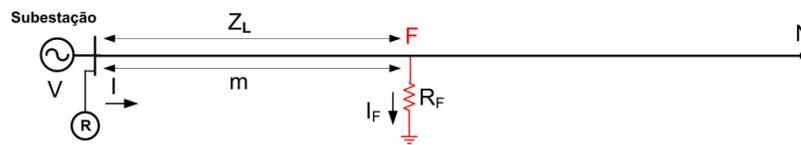


Figura 2.8 – Circuito para verificação do impacto da resistência de falta.

A impedância ( $Z$ ) entre a subestação e a falta é obtida através da relação entre a tensão ( $V$ ) e corrente ( $I$ ) no ponto de instalação do relé, determinada em (2.1).

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{I \cdot m \cdot Z_L + R_F \cdot I_F}{I} = m \cdot Z_L + R_F \cdot \left(\frac{I_F}{I}\right) \quad (2.1)$$

$Z_L$  é a impedância por unidade de comprimento da linha até o ponto com falta e  $m$  é a distância da falta à subestação. A Figura 2.9 mostra o diagrama R-X dessa impedância calculada nos relés.

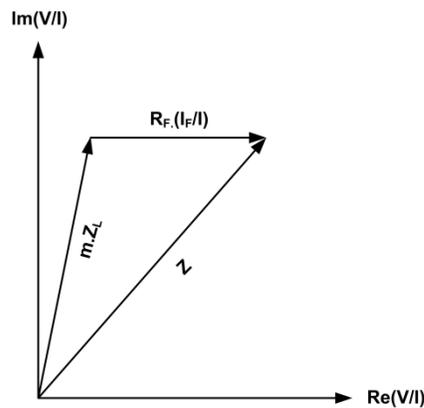


Figura 2.9 – Diagrama R-X da impedância ( $Z$ ) calculada pelo relé de distância [28].

Na Figura 2.9 é possível notar que a impedância calculada pelo relé é constituída da impedância da linha até o ponto com falta ( $m \cdot Z_L$ ) e da impedância da falta ( $R_F \left(\frac{I_F}{I}\right)$ ). Nota-se nessa figura que a impedância ( $Z$ ) vista pelo relé é maior que a impedância ( $m \cdot Z_L$ ) em que a falta ocorreu. Isso ocorre, pois a resistência da falta aumenta a impedância calculada pelos relés. Assim, a resistência de falta é um fator que influencia na localização de falta.

Alguns relés (G. Morales-España *et al* [9] e Warrington [5]) usam somente a reatância da impedância ( $Z$ ), com o objetivo de reduzir o impacto da resistência de falta. Isso é possível, pois nota-se na Figura 2.9 que a componente reativa da impedância até o ponto com falta ( $m \cdot Z_L$ ) é igual a componente reativa da impedância ( $Z$ ) calculada pelo relé de distância.

Como a resistência de falta é desconhecida, nos capítulos de resultados ela é variada para analisar o comportamento dos métodos para diferentes valores de  $R_F$  e verificar sua influência no desempenho dos relés de distância.

## 2.4 EFEITO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)

Os algoritmos dos relés de distância estudados neste trabalho são desenvolvidos para determinarem a posição da falta a partir de medições de tensões e correntes trifásicas realizadas na subestação. Estes métodos foram desenvolvidos considerando a topologia radial dos alimentadores de distribuição, em que o fluxo de potência é unidirecional [29]. Entretanto, com o aumento da penetração de GD essa característica não é mais observada, o que pode deteriorar a qualidade da localização de faltas realizadas por tais métodos.

A Figura 2.10 mostra a inserção de um GD na barra N do circuito da Figura 2.8. Neste caso a corrente de falta ( $I_F$ ) é composta da corrente ( $I$ ) que sai da subestação e da corrente que sai do GD ( $I_{GD}$ ). Ao aplicar uma metodologia tradicional de relé de distância, a corrente do gerador distribuído não será considerada e a estimativa da distância pode ser seriamente comprometida.

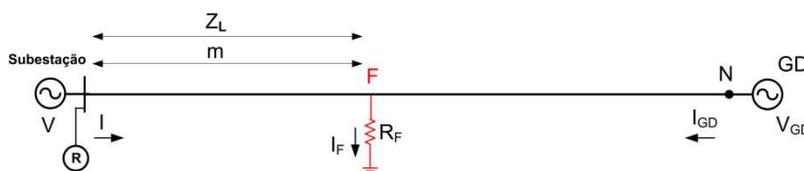


Figura 2.10 – Circuito para verificação do impacto da GD.

A equação (2.2) mostra como deveria ser calculada a impedância na presença do GD.

$$Z = m \cdot Z_L + R_F \cdot \left( \frac{I + I_{GD}}{I} \right) \quad (2.2)$$

A impedância ( $Z$ ) calculada em (2.2) é em função também da corrente do GD. Assim, com as metodologias desenvolvidas para localizar faltas utilizando medidas de apenas um terminal da rede não seria possível considerar a contribuição do GD.

Mesmo sabendo da influência da GD, o desempenho dos relés de distância, em sua forma original usando apenas medidas da subestação, foi testado nos sistemas de 21 e 134 barras na presença de GD. O objetivo é observar se a presença de GD altera significativamente o desempenho dos métodos de localização de falta testados nesta dissertação.

## 2.5 O PROBLEMA DA MÚLTIPLA ESTIMAÇÃO

Considere o sistema de distribuição mostrado na Figura 2.11. Este sistema contém uma falta para a terra na fase B do ramo que conecta as barras 6 e 7. Após o relé de distância ( $R$ ) detectar e classificar a falta, os relés de distância necessitam que o ramal principal do alimentador seja identificado. Nesse contexto, como há mais de uma barra terminal onde há a fase B, envolvida na falta, é possível identificar mais de um ramal principal. Os ramos principais para a falta em questão são mostrados na Figura 2.12. Note que não há ramos principais que terminam nas barras 19 e 21, pois nestas barras a fase sob falta não está presente.

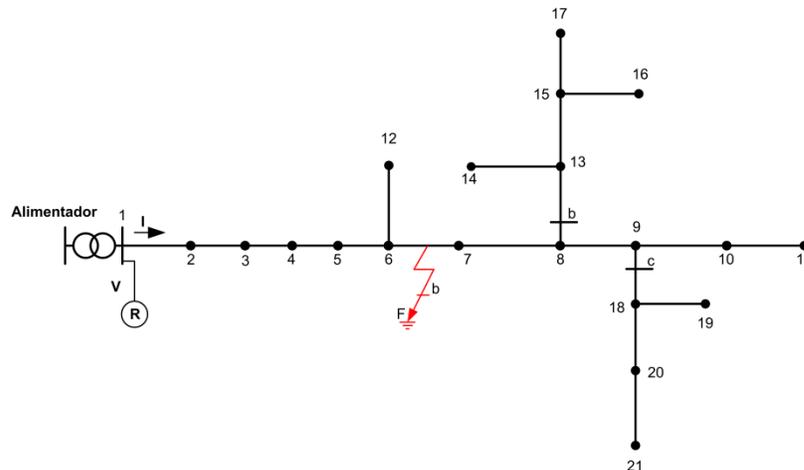


Figura 2.11 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com falta aplicada entre as barras 6 e 7.

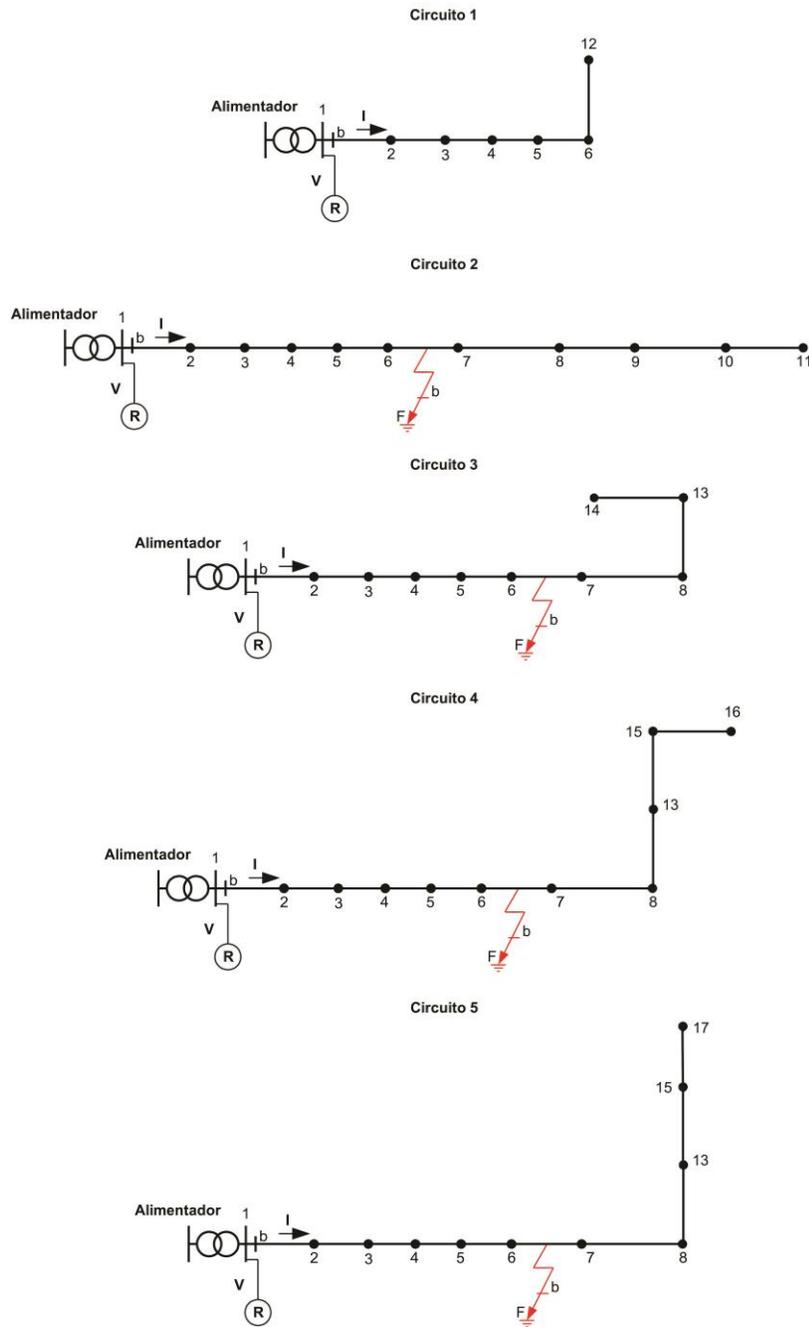


Figura 2.12 – Ramais principais para uma falta entre as barras 6 e 7, fase B, sistema de 21 barras.

Neste caso, como há cinco possíveis ramais principais, as metodologias de localização de falta podem ser aplicadas a todos eles dando origem a cinco distâncias estimadas.

A múltipla estimação da falta ainda não foi solucionada de maneira eficiente, mas há muitos estudos nessa área [30]-[32]. Em [1], para reduzir a múltipla localização, sugere-se o uso

de indicadores de faltas. Tais indicadores sinalizam quando uma falta está à jusante do seu ponto de instalação. Lâmpada de LED piscando, bandeira mecânica, pulso acústico (campainhas), sinal de alta frequência ou sinal de contato SCADA podem ser usados para a indicação [1]. Em [33]-[35] são apresentados tipos comerciais de indicadores de faltas, bem como seu funcionamento.

Para ilustrar o funcionamento dos indicadores de falta, considere o sistema da Figura 2.13, onde foram instalados três indicadores. Neste caso, como a falta ocorreu a montante de todos os indicadores, eles não sinalizam e, portanto, o único ramal principal possível seria aquele que termina na barra 11, indicado em azul na Figura 2.13 e chamado de circuito 2 na Figura 2.12

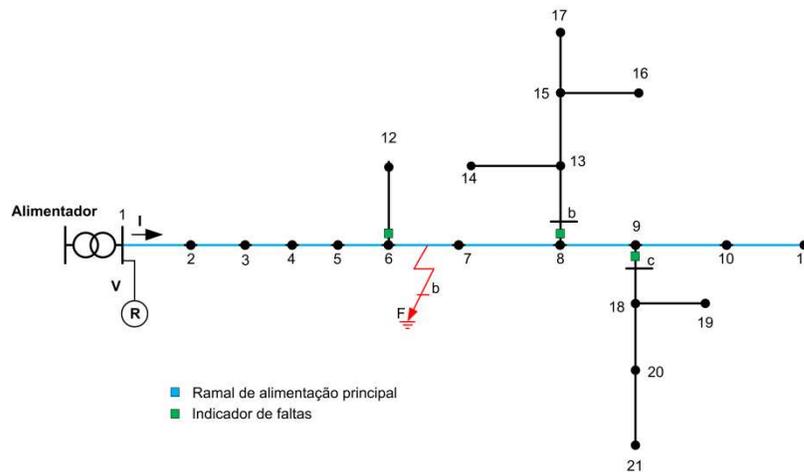


Figura 2.13 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com falta aplicada entre as barras 6 e 7 e indicadores de faltas nas entradas dos ramais laterais.

Nesta dissertação o problema da múltipla estimação de falta não é tratado. Para evitar a múltipla estimação apenas um ramal principal é considerado para cada falta aplicada durante os testes. O ramal principal será aquele cuja impedância do ponto da falta até a barra terminal apresente a maior impedância. É fato que a escolha do ramal principal interfere no desempenho das metodologias de localização, entretanto, testes preliminares indicaram que todos os ramais principais que contém o ramo sob falta apresentam estimativas muito próximas. Assim, no exemplo da Figura 2.12 as distâncias estimadas para os circuitos 2, 3, 4 e 5 são aproximadamente iguais.

A descrição de como os algoritmos dos cinco métodos localizam faltas será feita no Capítulo 3 para a falta entre os barramentos 6 e 7 (Circuito 2).



## CAPÍTULO 3

### MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE DEFEITOS BASEADOS EM IMPEDÂNCIA

Os relés de distância para localização de faltas avaliados nesta dissertação foram selecionados a partir dos desempenhos relatados na literatura e dos dados requeridos em cada relé. Os métodos com melhores desempenhos e que requerem os dados mais comuns foram selecionados. Portanto, foram escolhidos os métodos propostos em G. Morales-España *et al* [9], Novosel *et al* [10], Yang *et al* [11], Girgis *et al* [12] e Warrington *et al* [5]. Deste ponto em diante, por simplicidade, os métodos serão identificados pelo nome do primeiro autor.

Neste capítulo serão tratados apenas os mecanismos de localização das faltas de cada um dos métodos. As etapas de detecção e classificação da falta, que precedem a localização, foram abordadas no Capítulo 2. Serão abordados apenas os mecanismos de localização de faltas monofásicas e trifásicas de cada um dos métodos.

Os algoritmos dos métodos serão apresentados a partir do caso de falta simulado no sistema de 21 barras descrito no Capítulo 2, Seção 2.5. O problema da múltipla localização não será considerado na apresentação dos métodos.

#### 3.1 MÉTODO DE ESPAÑA

A ideia central deste método é baseada no fato de que a impedância de uma falta é predominantemente resistiva e, portanto, a reatância de falta é aproximadamente nula. Assim, a reatância de falta é calculada em diversos pontos da rede, partindo da subestação e varrendo a rede em direção às barras terminais. O local da falta é aquele que apresenta a menor reatância calculada. Esta reatância é calculada a partir da relação entre a tensão e a corrente no ponto da falta. Neste método o efeito das cargas é considerado de forma aproximada.

O primeiro passo da metodologia é determinar a impedância aproximada das cargas ( $Z_C$ ) nas fases A, B e C. Para o cálculo da impedância das cargas o método de Espanha considera que todas as cargas do circuito estão agregadas em sua extremidade. Essa aproximação é válida

sempre que as impedâncias das cargas forem muito maiores que as impedâncias dos ramos de distribuição. As impedâncias aproximadas das cargas são calculadas a partir das tensões ( $V_P$ ) e das correntes ( $I_P$ ) medidas na subestação antes da falta. A Figura 3.1 ilustra as simplificações feitas na rede para a obtenção dos valores aproximados das impedâncias das cargas.

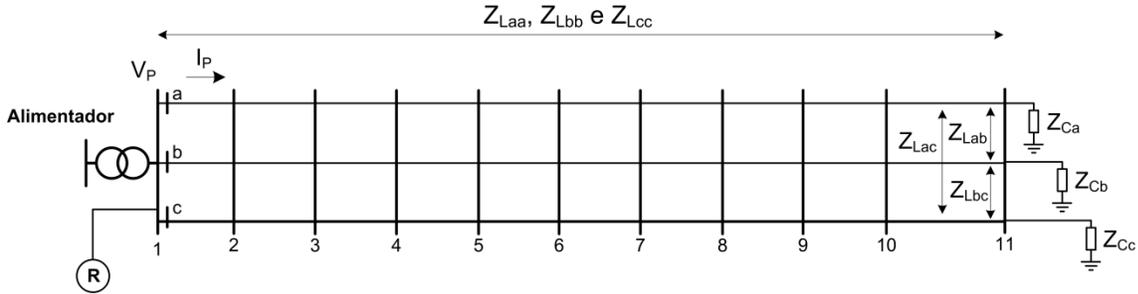


Figura 3.1 – Circuito usado para o cálculo aproximado das impedâncias da carga.

Como todas as cargas foram agregadas na extremidade do circuito, a matriz de impedâncias ( $Z_L$ ), definida em (3.1), é composta pela soma das matrizes de impedâncias de todos os ramos compreendidos entre a subestação e a barra onde as cargas foram agregadas.

$$Z_L = \begin{bmatrix} Z_{Laa} & Z_{Lab} & Z_{Lac} \\ Z_{Lba} & Z_{Lbb} & Z_{Lbc} \\ Z_{Lca} & Z_{Lcb} & Z_{Lcc} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

A matriz de impedâncias das cargas ( $Z_C$ ) é definida em (3.2).

$$Z_C = \begin{bmatrix} Z_{Ca} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{Cb} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{Cc} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$Z_{Ca}$ ,  $Z_{Cb}$  e  $Z_{Cc}$  são as impedâncias equivalentes aproximadas das cargas nas fases A, B e C, respectivamente. As tensões e correntes pré-falta medidas nas fases A, B e C na subestação são definidas em (3.3).

$$V_P = [V_{Pa} \quad V_{Pb} \quad V_{Pc}]^T \quad \text{e} \quad I_P = [I_{Pa} \quad I_{Pb} \quad I_{Pc}]^T \quad (3.3)$$

Da análise do circuito da Figura 3.1 chega-se a equação (3.4).

$$V_P = (Z_C + Z_L)I_P \quad (3.4)$$

Para determinar os valores das impedâncias equivalentes das cargas basta substituir (3.1), (3.2) e (3.3) em (3.4) e isolar  $Z_C$ . As impedâncias equivalentes aproximadas das cargas por fase são mostradas em (3.5).

$$\begin{aligned} Z_{Ca} &= \frac{V_{Pa}}{I_{Pa}} - \frac{Z_{Laa}I_{Pa} + Z_{Lab}I_{Pb} + Z_{Lac}I_{Pc}}{I_{Pa}} \\ Z_{Cb} &= \frac{V_{Pb}}{I_{Pb}} - \frac{Z_{Lba}I_{Pa} + Z_{Lbb}I_{Pb} + Z_{Lbc}I_{Pc}}{I_{Pb}} \\ Z_{Cc} &= \frac{V_{Pc}}{I_{Pc}} - \frac{Z_{Lca}I_{Pa} + Z_{Lcb}I_{Pb} + Z_{Lcc}I_{Pc}}{I_{Pc}} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Obtidos os valores aproximados das cargas nas fases A, B e C, devem ser calculadas as tensões e as correntes no ponto da falta e, a partir delas, a impedância de falta. Nesta fase é realizada uma varredura desde a subestação até a barra terminal do circuito, variando o suposto local da falta e calculando a impedância de falta em cada local analisado. A Figura 3.2 ilustra um caso de falta monofásica na fase B no ramo entre as barras 6 e 7 da rede. Todos os ramos contidos entre as barras 1 e 6 já foram varridos e suas impedâncias estão somadas na matriz  $Z_{antes}$ . Todos os ramos após a barra 7 ainda não foram varridos e suas impedâncias estão somadas na matriz  $Z_{após}$ .

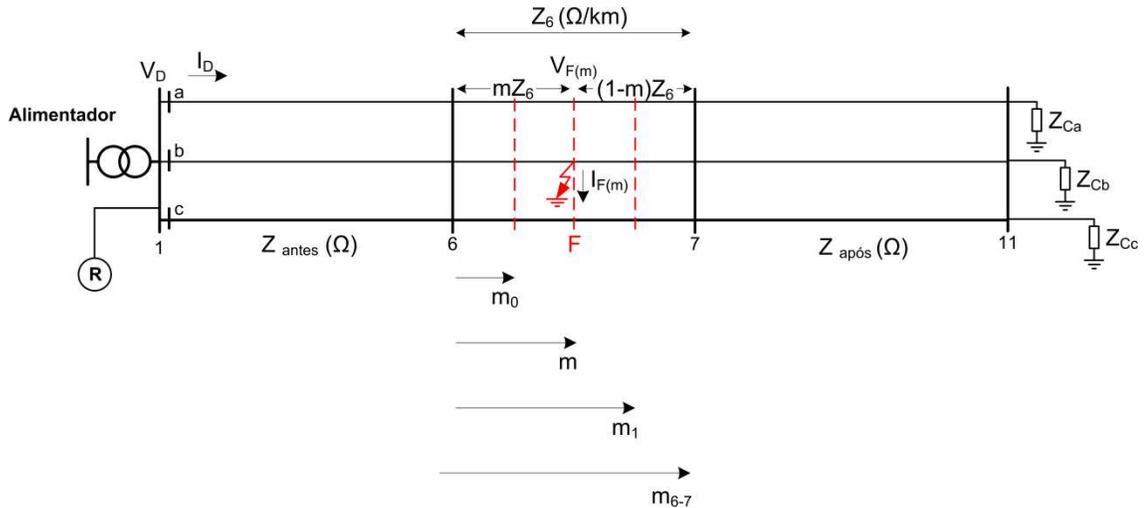


Figura 3.2 – Princípio de funcionamento do Método de Espanha.

Na Figura 3.2 o ramo 6-7 está sendo varrido e os supostos locais da falta ( $m_0, m, m_1, m_{6-7}$ ) são identificados pelas suas distâncias até a barra 7.

As tensões de falta no ponto analisado, tensões no ponto m, são determinadas conforme (3.6).

$$V_{F(m)-abc} = [V_{D-abc}] - ([Z_{antes}] + m \cdot [Z_6]) \cdot [I_{D-abc}] \quad (3.6)$$

O vetor  $V_{F(m)-abc}$  contém as tensões de falta para as fases A, B e C calculadas no ponto m,  $V_{D-abc}$  contém as tensões nas fases A, B e C da subestação durante a falta;  $Z_6$  é a impedância do ramo analisado em  $[\Omega/\text{km}]$  e  $I_{D-abc}$  contém as correntes nas fases A, B, e C que saem da subestação durante a falta.

O vetor contendo as correntes de falta,  $I_{F(m)-abc}$ , é a diferença entre o vetor de correntes ( $I_{D-abc}$ ), medidas na subestação durante a falta e as correntes que saem do ponto m em direção às cargas. Assim, de acordo com a Figura 3.2 o vetor de correntes de falta para uma falta ponto m é calculado por (3.7).

$$I_{F(m)-abc} = [I_{D-abc}] - [Y_{EQ(m)-abc}] \cdot [V_{F(m)-abc}] \quad (3.7)$$

O termo  $Y_{EQ(m)-abc}$  mostrado na equação (3.7) contém o somatório das admitâncias que estão após o ponto m, e é determinado em (3.8).

$$Y_{EQ(m)-abc} = ((1 - m) \cdot [Z_6] + (Z_{após}) + (Z_C))^{-1} \quad (3.8)$$

Para o ponto de falta sob análise, ponto m, a matriz contendo as impedâncias de falta para as fases A, B e C é expressa em (3.9).

$$Z_{F(m)-abc} = \begin{bmatrix} \frac{V_{F(m)-a}}{I_{F(m)-a}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{V_{F(m)-b}}{I_{F(m)-b}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{V_{F(m)-c}}{I_{F(m)-c}} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Finalmente, as reatâncias de falta são obtidas como mostra a equação (3.10).

$$X_{F(m)-abc} = |\text{imag}(Z_{F(m)-abc})| \quad (3.10)$$

Para cada distância atribuída, ou para cada suposto ponto de falta, o método de España determina as reatâncias de falta em cada uma das fases. Entretanto, se a falta é

monofásica, somente a reatância da fase afetada é considerada na busca pela menor reatância. Para o caso de uma falta trifásica a reatância de interesse é calculada conforme a equação (3.11).

$$X_{F(m)-trifásica} = \frac{(V_{F(m)-b}) - (V_{F(m)-a})}{(I_{F(m)-b}) - (I_{F(m)-a})} \quad (3.11)$$

### 3.2 MÉTODO DE NOVOSEL

O método de Novosel é uma simplificação do circuito de distribuição com cargas distribuídas ao longo do mesmo, em um circuito de distribuição com cargas alocadas na extremidade do circuito, assim como o método de Espanha. Ao contrário do método de Espanha, os métodos de Novosel, Yang, Girgis e Warrington trabalham somente com as fases sob falta. O método proposto por Novosel se baseia na determinação da tensão durante a falta em função da distância (m), corrente e resistência de falta. A corrente de falta é desconhecida e sua determinação é feita usando o circuito sobreposto, originado da decomposição do circuito com falta. Esse circuito sobreposto é um único circuito que contém as condições de operação do circuito antes da falta e durante a falta.

A Figura 3.3 mostra uma rede contendo uma falta monofásica ocorrida na fase B a uma distância m da subestação.

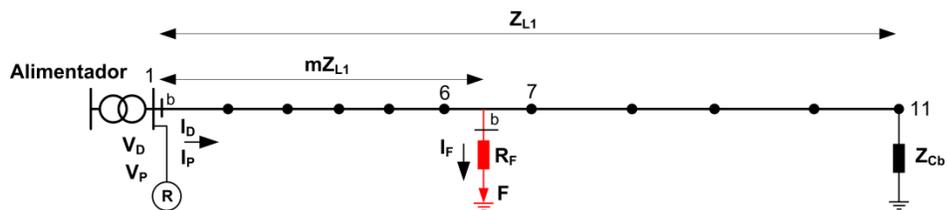


Figura 3.3 – Princípio de funcionamento do método de Novosel.

De acordo com a Figura 3.3, a tensão durante a falta ( $V_D$ ) calculada pelo relé de distância é apresentada em (3.12).

$$V_D = I_D m Z_{L1} + R_F I_F \quad (3.12)$$

$V_D$  e  $I_D$  são a tensão e a corrente na fase com falta, respectivamente, medidas na subestação durante a falta,  $Z_{L1}$  é a soma das impedâncias de sequência positiva de todos os ramos do circuito desde a subestação até a barra terminal,  $R_F$  é a resistência de falta e  $I_F$  é a corrente de falta.

Para a falta monofásica da Figura 3.3,  $V_D$  e  $I_D$  são definidos em (3.13) e (3.14), respectivamente.

$$V_D = V_{bd} \quad (3.13)$$

$$I_D = I_{bd} - kI_{0d} \quad (3.14)$$

$V_{bd}$  e  $I_{bd}$  são a tensão e a corrente na fase B durante a falta, respectivamente, medidas na subestação e  $I_{0d}$  é a corrente de sequência zero que sai da subestação durante a falta. O fator  $k$  é definido em (3.15).

$$k = \left( \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} \right) \quad (3.15)$$

$Z_{L0}$  é a impedância de sequência zero do circuito com falta.

O fator  $k$  é usado na equação (3.14) para compensar o efeito do acoplamento mútuo entre as fases, já que devido ao acoplamento uma fase induz correntes nas demais. O fator  $k$  também é usado nos métodos de Yang e Girgis.

Da Figura 3.3 também se calcula a impedância equivalente da carga na fase com falta,  $Z_{Cb}$ . A carga equivalente é modelada como impedância constante e obtida em (3.16).

$$Z_{Cb} = \frac{V_P}{I_P} - Z_{L1} \quad (3.16)$$

$V_P$  e  $I_P$  contêm as tensões e as correntes pré-falta medidas na subestação para as fases envolvidas na falta. Para faltas trifásicas,  $V_P$  e  $I_P$  são iguais à tensão e corrente de sequência positiva pré-falta, respectivamente. Para a falta monofásica da Figura 3.3,  $V_P$  e  $I_P$  são definidos em (3.17) e (3.18).

$$V_P = V_{bp} \quad (3.17)$$

$$I_P = I_{bp} \quad (3.18)$$

$V_{bp}$  e  $I_{bp}$  são a tensão e a corrente pré-falta na fase B, medidas na subestação.

Observando a equação (3.12), nota-se que possui três incógnitas,  $m$ ,  $R_F$  e  $I_F$ . Com o objetivo de solucioná-la e determinar a distância ( $m$ ) até a falta, o método de Novosel reduz o número de incógnitas determinando  $I_F$ . A corrente de falta  $I_F$  é desconhecida e para esse método não pode ser considerada a corrente medida na subestação durante a falta, pois o método considera cargas alocadas na extremidade do circuito. Para determinar a corrente de falta o método de Novosel parte do circuito sobreposto proposto por Takagi *et al* [7]. Esse circuito sobreposto é a junção, em único circuito, do circuito na condição de pré-falta com o circuito na condição de falta. A Figura 3.4 apresenta o circuito sobreposto para a falta monofásica da Figura 3.3. Nota-se na Figura 3.4 a representação da variação, causada pela falta, na tensão e corrente da subestação ( $\Delta V_s$  e  $\Delta I_s$ ).  $V_F$  é a tensão no ponto da falta e  $I_{Cb}$  e  $Z_{Cb}$  são corrente de carga e carga equivalente da fase B, respectivamente.

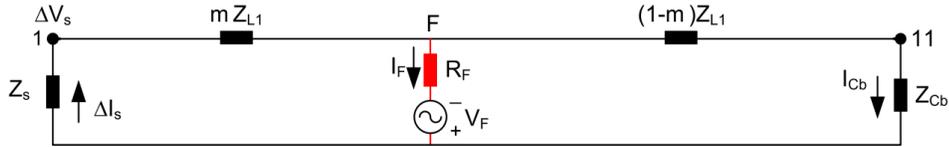


Figura 3.4 – Circuito sobreposto para a falta que ocorreu na Figura 3.3.

Do circuito apresentado na Figura 3.4, a impedância da fonte ( $Z_s$ ) pode ser calculada como segue:

$$Z_s = -\frac{\Delta V_s}{\Delta I_s} = -\left(\frac{V_D - V_P}{I_D - I_P}\right) \quad (3.19)$$

Ainda com base no circuito da Figura 3.4, determina-se a corrente ( $\Delta I_s$ ):

$$\Delta I_s = \frac{Z_{Cb} + (1 - m)Z_{L1}}{Z_s + Z_{Cb} + Z_{L1}} I_F \quad (3.20)$$

Ao termo que acompanha a corrente de falta ( $I_F$ ) dá-se o nome de  $d_s$ , definido em (3.21).  $d_s$  é um fator de distribuição de corrente da fonte.

$$d_s = \frac{Z_{Cb} + (1 - m)Z_{L1}}{Z_s + Z_{Cb} + Z_{L1}} \quad (3.21)$$

Substituindo (3.21) em (3.20), tem-se (3.22).

$$\Delta I_s = d_s I_F \quad (3.22)$$

$\Delta I_s$  é determinado em (3.23).

$$\Delta I_s = I_D - I_P \quad (3.23)$$

Isolando  $I_F$  em (3.22) e substituindo em (3.12), tem-se:

$$V_D = I_D m Z_{L1} + R_F \left( \frac{\Delta I_s}{d_s} \right) \quad (3.24)$$

A equação (3.24) é quadrática e pode ser expressa como em (3.25).

$$m^2 - m x_1 + x_2 - x_3 R_F = 0 \quad (3.25)$$

Os coeficientes  $x_1$ ,  $x_2$ , e  $x_3$  são determinados em (3.26).

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{V_D}{I_D Z_{L1}} + \frac{Z_{Cb}}{Z_{L1}} + 1 \\ x_2 &= \frac{V_D}{I_D Z_{L1}} \left( \frac{Z_{Cb}}{Z_{L1}} + 1 \right) \\ x_3 &= \frac{\Delta I_s}{I_D Z_{L1}} \left( \frac{Z_s + Z_{Cb}}{Z_{L1}} + 1 \right) \end{aligned} \quad (3.26)$$

A equação complexa (3.25) tem duas incógnitas,  $m$  e  $R_F$ . A equação (3.25) é separada em parte real e imaginária, assim tem-se um sistema de duas equações. Resolvendo o sistema elimina-se  $R_F$ , ficando a distância  $m$  da falta em função de dados disponíveis, conforme (3.27).

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.27)$$

onde,

$$\begin{aligned} a &= 1 \\ b &= - \left( \operatorname{Re}(x_1) - \left( \frac{\operatorname{Im}(x_1) \times \operatorname{Im}(x_3)}{\operatorname{Im}(x_3)} \right) \right) \\ c &= \operatorname{Re}(x_2) - \left( \frac{\operatorname{Im}(x_2) \times \operatorname{Im}(x_3)}{\operatorname{Im}(x_3)} \right) \end{aligned} \quad (3.28)$$

O cálculo da distância da falta foi desenvolvido anteriormente para a falta monofásica da Figura 3.3. Todavia, o método de Novosel contempla todos os tipos de faltas. Os fasores

necessários para calcular as equações (3.26) e (3.28) e determinar a distância da falta em (3.27) para faltas trifásicas (a-b-c), são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Novosel.

| Tipo da Falta | $V_p$             | $I_p$             | $V_D$             | $I_D$             | $\Delta I_s$                            |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
| a-b-c         | $V_{bp} - V_{cp}$ | $I_{bp} - I_{cp}$ | $V_{bd} - V_{cd}$ | $I_{bd} - I_{cd}$ | $(I_{bd} - I_{cb}) - (I_{cd} - I_{cc})$ |

$V_{cp}$  e  $I_{cp}$  são a tensão e a corrente medidas na fase C da subestação, pré-falta.  $V_{cd}$  e  $I_{cd}$  são a tensão e a corrente medidas na fase C da subestação, durante a falta.  $I_{cc}$  é a corrente da carga equivalente da fase C.  $I_{cc} = I_{cp}$  e  $I_{cb} = I_{bp}$ .

### 3.3 MÉTODO DE YANG

O método proposto por Yang calcula a distância da falta sem considerar as cargas. Esta mesma simplificação é realizada nos métodos de Girgis e Warrington.

A distância da falta no método de Yang é obtida considerando que as linhas são homogêneas e que não há cargas intermediárias. Para determinar a distância (m) da falta, o método se baseia no cálculo de uma impedância, na subestação, através de medidas diretas obtidas na mesma. A desconhecida corrente de falta é substituída pelas correntes de sequência no ponto faltoso. Essas correntes também não são diretamente determinadas e o método as considera como sendo as correntes de sequência calculadas na subestação. A Figura 3.5 ilustra o sistema de 21 barras com uma falta monofásica na fase B, entretanto, as cargas não são representadas.

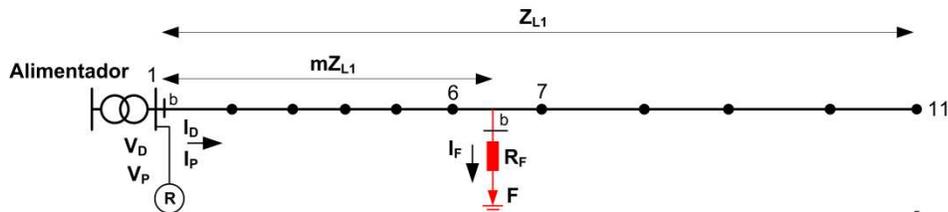


Figura 3.5 – Princípio de funcionamento do método de Yang.

A tensão ( $V_D$ ) é calculada no alimentador da figura acima por (3.29).

$$V_D = I_D m Z_{L1} + R_F I_F \quad (3.29)$$

A impedância ( $Z_D$ ) calculada pelo relé durante a falta é a soma da impedância da linha compreendida entre a subestação até o ponto da falta mais a impedância da falta ( $\frac{R_F I_F}{I_D}$ ). Esta impedância é calculada por (3.30).

$$Z_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{I_D m Z_{L1} + R_F I_F}{I_D} = m(R_{L1} + jX_{L1}) + \frac{R_F I_F}{I_D} = R_{ap} + jX_{ap} \quad (3.30)$$

$R_{L1}$  é a resistência de sequência positiva do circuito e  $X_{L1}$  é a reatância de sequência positiva do circuito.  $R_{ap}$  é a resistência aparente vista pelo relé de distância e  $X_{ap}$  é a reatância aparente vista pelo relé de distância.

$V_D$  e  $I_D$  são iguais à tensão e corrente calculadas no método de Novosel, obtidas em (3.13) e (3.14), respectivamente.

A corrente de falta ( $I_F$ ) da equação (3.30) é substituída pelas correntes de sequência no ponto com falta, que no caso de faltas monofásicas são expressas em (3.31).

$$I_F = 3I_{2F} = 3I_{1F} = 3I_{0F} \quad (3.31)$$

$I_{0F}$ ,  $I_{1F}$  e  $I_{2F}$  são as correntes de sequência zero, positiva e negativa, respectivamente, que surgem no local da falta (F) monofásica. Essas correntes não são medidas diretamente e seria impossível usá-las, porém, o método considera que as correntes de sequência em (3.31) podem ser representadas de maneira proporcional às correntes de sequência de linha, calculadas com os fasores da subestação, durante a falta, como em (3.32).

$$I_F = 3I_2 = 3I_1 = 3I_0 \quad (3.32)$$

$I_0$ ,  $I_1$  e  $I_2$  são as corrente de sequência zero, positiva e negativa calculadas na subestação, durante a falta. Como pode ser visto na equação (3.32) existem três opções de se representar  $I_F$ , o método opta pela corrente de sequência negativa alegando que seu uso a faz ser independente da corrente de carga.

Substituindo (3.32) em (3.30), tem-se (3.33).

$$m(R_{L1} + jX_{L1}) + 3R_F \left( \frac{I_2}{I_D} \right) = R_{ap} + jX_{ap} \quad (3.33)$$

A razão entre as correntes  $\left(\frac{I_2}{I_D}\right)$  é expressa em (3.34).

$$\frac{I_2}{I_D} = \left|\frac{I_2}{I_D}\right| e^{-j\alpha} \quad (3.34)$$

Separando as partes real e imaginária da equação (3.33) e a divisão das expressões, chega-se na equação da distância da falta (m), conforme (3.35).

$$m = \frac{X_{ap} + R_{ap} \tan \alpha}{X_{L1} + R_{L1} \tan \alpha} \quad (3.35)$$

$\alpha$  é calculado através de (3.36).

$$\alpha = \arg(I_D) - \arg(I_2) \quad (3.36)$$

O método pode ser aplicado para os demais tipos de faltas. Para localização de falta trifásica (a-b-c), os fasores necessários são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Yang.

| Tipo da Falta | $V_D$             | $I_D$             | $\alpha$  |
|---------------|-------------------|-------------------|---|
| a-b-c         | $V_{ad} - V_{bd}$ | $I_{ad} - I_{bd}$ | $\arg(I_D) - \arg((I_{ad} - I_{bd}) - (I_{ap} - I_{bp}))$ |

$V_{ad}$  e  $V_{bd}$  são as tensões na subestação durante a falta, fase A e B, respectivamente.  $I_{ad}$  e  $I_{bd}$  são as correntes de linhas que saem da subestação em sentido à barra 6, durante a falta, fase A e B, respectivamente.  $I_{ap}$  e  $I_{bp}$  são as correntes nas fases A e B, respectivamente, que saem da subestação em sentido à barra 6, pré-falta.

### 3.4 MÉTODO DE GIRGIS

O método de Girgis foi proposto para localizar faltas em redes rurais. Após detectar a ocorrência de uma falta e classificá-la (através das magnitudes das correntes no início dos alimentadores da subestação), o método calcula uma impedância aparente ( $Z_D$ ) vista pelo relé. Essa impedância é obtida através da análise do circuito sob falta, considerando que não há cargas intermediárias. O método também considera o fator k, apresentado na equação (3.15), que compensa a influência do acoplamento mútuo na corrente da fase sob falta.

O método de Girgis não considera cargas e, nesse aspecto, é semelhante ao método de Yang. Entretanto, eles diferem no tratamento dado à corrente de falta e no modo de extrair a distância (m) da falta, da equação de impedância. A Figura 3.5 é usada para demonstrar o método de Girgis. Define-se em (3.37) a impedância calculada pelo relé durante a falta.

$$Z_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{I_D m Z_{L1} + R_F I_F}{I_D} = m(R_{L1} + jX_{L1}) + \frac{R_F I_F}{I_D} = R_{ap} + jX_{ap} \quad (3.37)$$

A equação (3.37) é igual à equação (3.30), apresentada no método de Yang.

Para compensar a desconhecida resistência de falta, a corrente que alimenta a falta deve ser considerada [12]. Com isso a corrente de falta ( $I_F$ ) da equação (3.37) é expressa em termos de uma corrente de compensação ( $I_{comp}$ ), i.e., a resistência de falta é compensada através da corrente de falta. Considerando a corrente de compensação na equação (3.37), tem-se (3.38).

$$m(R_{L1} + jX_{L1}) + \frac{R_F(I_{comp})}{I_D} = R_{ap} + jX_{ap} \quad (3.38)$$

Para o caso da falta monofásica da Figura 3.5 assume-se  $I_{comp}$  como proporcional à corrente de sequência zero, definida em (3.39).

$$I_{comp} = 3I_0 = I_d + jI_q \quad (3.39)$$

A corrente  $I_D$  da equação (3.37) é igual à corrente nos métodos de Novosel e Yang, determinada em (3.14), nesta seção houve a necessidade de reescrevê-la (equação (3.40)), pois no método de Girgis a parte real e imaginária de  $I_D$  é usada.

$$I_D = I_{bd} - kI_{0d} = I_{s1} + jI_{s2} \quad (3.40)$$

Substituindo (3.39) e (3.40) em (3.38), tem-se (3.41).

$$m(R_{L1} + jX_{L1}) + \frac{R_F(I_d + jI_q)}{I_{s1} + jI_{s2}} = R_{ap} + jX_{ap} \quad (3.41)$$

Eliminando a resistência de falta em (3.41), que é desconhecida, à distância m até a falta é definida em (3.42).

$$m = \left( \frac{R_{ap}M - X_{ap}N}{R_{L1}M - X_{L1}N} \right) \quad (3.42)$$

Sendo N e M calculados em (3.43).

$$N = \left( \frac{I_d I_{s1} + I_q I_{s2}}{I_{s1}^2 + I_{s2}^2} \right) \text{ e } M = \left( \frac{-I_d I_{s2} - I_q I_{s1}}{I_{s1}^2 + I_{s2}^2} \right) \quad (3.43)$$

O equacionamento realizado anteriormente foi para a localização da falta monofásica da Figura 3.5. Em caso de faltas trifásicas, os dados necessários para calcular a distância (m) são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Girgis.

| Tipo da Falta | $I_D$    | $I_D$    | $I_{comp}$                              |
|---------------|----------|----------|---|
| a-b-c         | $V_{D1}$ | $I_{D1}$ | $(I_{ad} - I_{ap}) + (I_{bd} - I_{bp})$ |

$V_{D1}$  é a tensão de sequência positiva no alimentador da subestação, durante a falta.  $I_{D1}$  é a corrente de sequência positiva que sai do alimentador da subestação durante a falta.  $I_{ad}$  e  $I_{ap}$  são as correntes da fase A que saem do alimentador da subestação durante e pré-falta, respectivamente.  $I_{bd}$  e  $I_{bp}$  são as correntes da fase B que saem do alimentador da subestação durante e pré-falta, respectivamente.

### 3.5 MÉTODO DE WARRINGTON

Os relés de distância, segundo Warrington, são divididos em relé de impedância, de admitância e de reatância. Para que o relé de reatância calcule a distância até o ponto da falta, é necessário obter medidas de tensão ( $V_D$ ) e corrente ( $I_D$ ) na frequência fundamental, durante a falta, no local onde o relé está instalado e também, o valor das reatâncias próprias das linhas da rede por unidade de comprimento.

O método da reatância (nesse trabalho também chamado de método de Warrington) é a técnica mais simples para localizar faltas. Simples pelo fato de não considerar em seu algoritmo, nem a resistência de falta e nem as cargas do sistema. Os métodos de España e Novosel consideram a resistência de falta e as cargas. Os métodos de Yang e Girgis consideram somente a resistência de falta.

A Figura 3.6 ilustra o sistema de 21 barras com a falta a ser localizada e os dados necessários para o algoritmo do método da reatância.

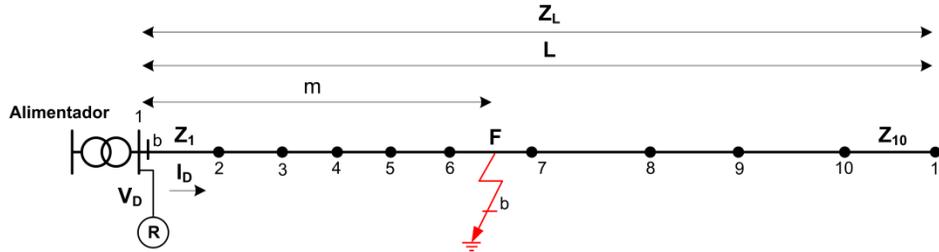


Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do método de Warrington.

O relé de reatância determina uma impedância  $Z_D$  calculada através da relação entre a tensão ( $V_D$ ) e a corrente que sai do alimentador ( $I_D$ ), conforme a equação (3.44).

$$Z_D = \frac{V_D}{I_D} \quad (3.44)$$

Da equação (3.44),  $V_D$  é calculado como na equação (3.13) e  $I_D$  é determinado em (3.45).

$$I_D = I_{bd} \quad (3.45)$$

$I_{bd}$  é a corrente na fase B durante a falta medida na subestação.

A reatância ( $X_D$ ) da impedância determinada em (3.44) é calculada em (3.46).

$$X_D = \text{imag}(Z_D) \quad (3.46)$$

Calculada a reatância durante a falta no ponto onde o relé está instalado, a impedância da linha da fase B ( $Z_L$ ) é obtida conforme equação (3.47).

$$Z_L = \frac{(Z_1 + \dots + Z_{10})}{L} \quad (3.47)$$

$Z_1, \dots, Z_{10}$  são as impedâncias próprias da fase B dos ramos em  $[\Omega]$  e  $L$  é o comprimento total do circuito da Figura 3.6.

Para o relé de distância baseado na reatância somente a reatância da linha ( $X_L$ ) é utilizada (equação 3.48)):

$$X_L = \text{imag}(Z_L) \quad (3.48)$$

A distância da falta  $m$  é obtida comparando a reatância da impedância calculada ( $X_D$ ) com a reatância por unidade de comprimento da linha ( $X_L$ ) ([1]), conforme (3.49).

$$\begin{array}{l} X_L \quad - \quad L \\ X_D \quad - \quad m \end{array} \quad (3.49)$$

No caso de faltas trifásicas (a-b-c), os sinais de tensão e corrente usados para calcular a impedância da falta são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Tensão e corrente medidas na subestação, e requeridas para determinar a distância das faltas trifásicas (a-b-c), método de Warrington.

| Tipo da Falta | $V_D$    | $I_D$    |
|---------------|----------|----------|
| a-b-c         | $V_{D1}$ | $I_{D1}$ |

$V_{D1}$  é a tensão de sequência positiva na subestação durante a falta.  $I_{D1}$  é a corrente de sequência positiva que sai da subestação, durante a falta.



## CAPÍTULO 4

### ANÁLISE DOS RELÉS DE DISTÂNCIA SEM A PRESENÇA DE GD

Neste capítulo são apresentados e discutidos testes realizados nos sistemas de 21 e 134 barras. A rede de 21 barras foi selecionada, pois é comumente adotada na literatura para a avaliação de relés de distância e a rede de 134 barras foi selecionada, pois apresenta características, como o número de ramais laterais, bem diferentes das apresentadas pela rede de 21 barras.

O sistema de 21 barras contém dois ramais laterais monofásicos e os demais ramos trifásicos. O sistema é desbalanceado e não homogêneo. O sistema de 21 barras tem ramos mais longos, sendo o menor de 2,414 km e o maior de 5,15 km. A barra mais distante da subestação no sistema de 21 barras está a aproximadamente 37 km (somados os comprimentos dos cabos que conectam a subestação à barra). O sistema de 134 barras é balanceado e apresenta somente ramos trifásicos. A barra 118, a mais distante da subestação, está a aproximadamente 4,27 km (somados os comprimentos dos cabos que conectam a subestação a barra 118). Este sistema apresenta ramos muito curtos, sendo o menor ramo de 10 metros. Porém, seu carregamento é maior que o da rede de 21 barras. Além disso, o sistema têm 35 extremidades (barras terminais) e, portanto, possui um elevado número de ramais laterais. Os parâmetros e informações destas redes são descritos no ANEXO A.

Os métodos avaliados foram selecionados com base nas análises de desempenho relatadas na literatura. Além disso, foram selecionados métodos que requerem apenas medidas realizadas na subestação e parâmetros da rede. Os cinco métodos testados utilizam apenas medidas de tensão e corrente na frequência fundamental obtidas nos alimentadores da subestação. Em todos os métodos as cargas não são requeridas. Este último aspecto é essencial, já que na prática dados das cargas não estão disponíveis ou são altamente imprecisos.

As redes foram modeladas e as faltas foram simuladas no software ATP (*Alternative Transient Program*) [36]. Em seguida os dados característicos das faltas foram enviados ao Matlab [37] onde os relés de distância foram implementados. Os fasores das tensões e correntes requeridos pelos relés foram calculados no Matlab através do filtro de Fourier de um ciclo [20].

Para verificação, os fasores calculados no Matlab foram comparados com os fornecidos pelo ATP. As cargas foram modeladas como impedância constante nos sistemas de 21 e 134 barras. O fato de as cargas serem representadas como impedâncias constantes no ATP pode marcar o desempenho dos métodos, por exemplo, melhorando o desempenho de métodos que em sua formulação também supõem que as cargas são do tipo impedância constante. Este é o caso do método de Espanha.

Neste capítulo os métodos apresentados no Capítulo 3 são testados nas redes teste sem a presença de geradores distribuídos. No próximo capítulo serão realizados testes similares, porém, as redes conterão tais geradores.

Neste capítulo, os métodos foram testados para seguintes condições: (Seção 4.1) variação na posição da falta; (Seção 4.2) variação na resistência da falta e (Seção 4.3) variação no carregamento nominal das redes. Para cada condição, o desempenho dos cinco métodos foi verificado para faltas monofásicas e trifásicas nos sistemas de 21 e 134 barras.

Os locais/barras onde as faltas foram aplicadas, para os sistemas de 21 e 134 barras, são mostrados na Figura 4.1 e na Figura 4.2, respectivamente. As faltas foram aplicadas uma por vez em cada um dos locais indicados. Para cada falta aplicada, foi estimada a distância entre a subestação e o local da falta usando cada um dos métodos apresentados no Capítulo 3. Em seguida, as distâncias estimadas foram comparadas com as distâncias reais e um erro de estimação foi calculado em cada um dos casos.

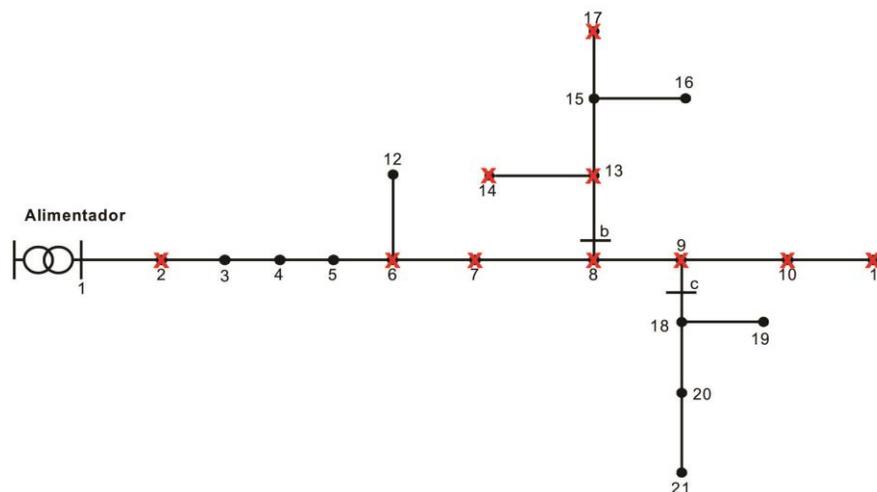


Figura 4.1 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com os locais das faltas identificados por “X”.

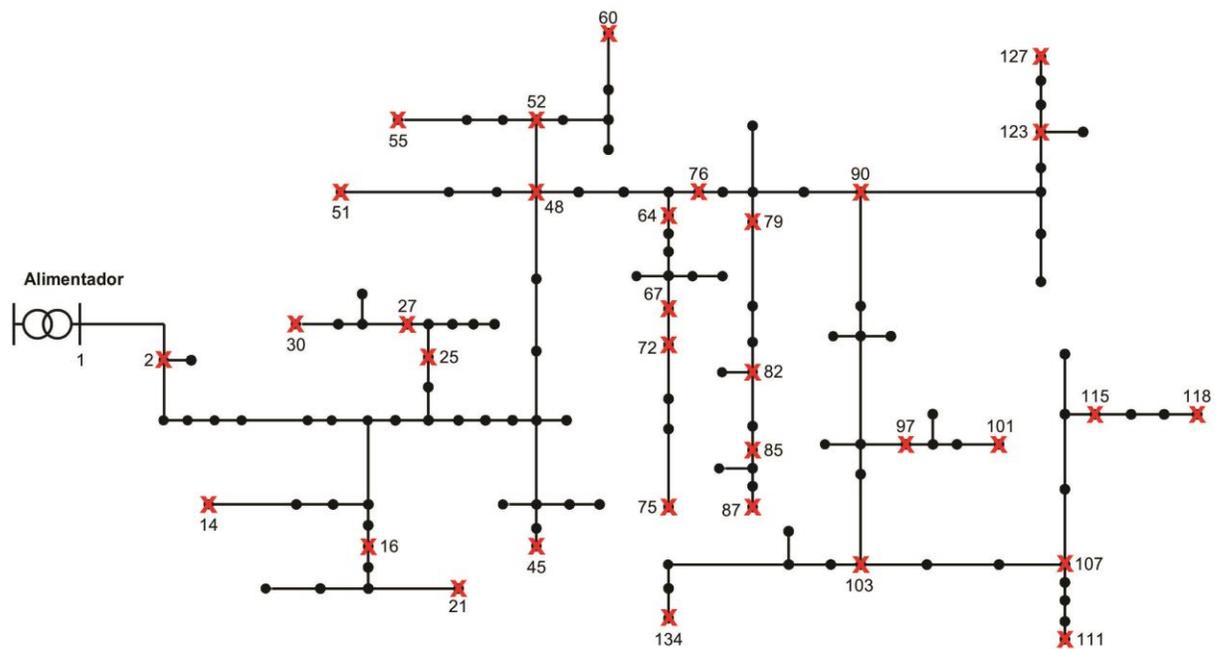


Figura 4.2 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV, com os locais das faltas identificados por “X”.

Em complemento ao que é mostrado nas figuras, na rede de 21 barras as faltas monofásicas foram aplicadas na fase B das barras 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 e 17 e as faltas trifásicas foram aplicadas nas barras 2, 6, 7, 8, 9, 10 e 11. Para o sistema de 134 barras, as faltas monofásicas foram aplicadas na fase A e as faltas trifásicas foram aplicadas em todas as barras indicadas na Figura 4.2.

Nesta etapa de testes os fluxos de potências são unidirecionais e fluem da subestação em direção às cargas, pois não há geradores distribuídos na rede. Na literatura, os relés de distância são geralmente avaliados sem a presença de geradores distribuídos. O desempenho dos métodos de localização de faltas foi verificado para faltas monofásicas e trifásicas, pois essas são as faltas que ocorrem com maior frequência em redes de distribuição típicas [3] e [23].

O objetivo deste capítulo é fazer uma análise mais rigorosa dos relés, expondo-os a condições menos idealizadas. Na literatura foram encontrados apenas testes realizados em redes com baixo carregamento e poucas ramificações. Além disso, na maioria dos casos, os testes consideram apenas faltas monofásicas.

## 4.1 INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO/LOCAL DA FALTA NO DESEMPENHO DOS RELÉS DE DISTÂNCIA

O desempenho dos cinco métodos de localização de faltas é testado considerando variações na posição da falta. A posição de falta foi variada aplicando faltas (monofásicas e trifásicas) em todas as barras indicadas na Figura 4.1 e Figura 4.2, para os sistemas de 21 e 134 barras, respectivamente. As distâncias dessas barras até a subestação de distribuição são apresentadas no ANEXO A. Os gráficos apresentados possuem no eixo das ordenadas o erro da localização de falta em metros e no eixo abcissas o número das barras sob falta. No eixo das abcissas optou-se em colocar o número das barras com falta para facilitar a visualização. A equação (4.1) mostra como o erro de localização de falta é obtido.

$$\text{Erro (metros)} = |\text{distância real da falta} - \text{distância calculada}| \quad (4.1)$$

A distância real da falta é a distância entre a subestação e a barra sob falta. A distância calculada é a distância entre a subestação e a localização estimada para a falta.

Para os resultados apresentados nas seções 4.1.1 e 4.1.2, considera-se os sistemas de teste operando com carregamento nominal e resistência de falta igual a  $5\Omega$  para faltas monofásicas e  $1\Omega$  para faltas trifásicas.

### 4.1.1 Sistema de 21 barras.

Na Figura 4.3 e Figura 4.4 são apresentados os erros de localização de faltas monofásicas e trifásicas, respectivamente, para a variação dos locais/barras com falta do sistema de 21 barras. Os resultados apresentados na Figura 4.3 também são apresentados na quarta coluna das Tabelas A.01, A.29, A.57, A.85 e A.113 do APÊNDICE A e os resultados apresentados na Figura 4.4 são reapresentados na quarta coluna das Tabelas A.11, A.39, A.67, A.95 e A.123 do APÊNDICE A.

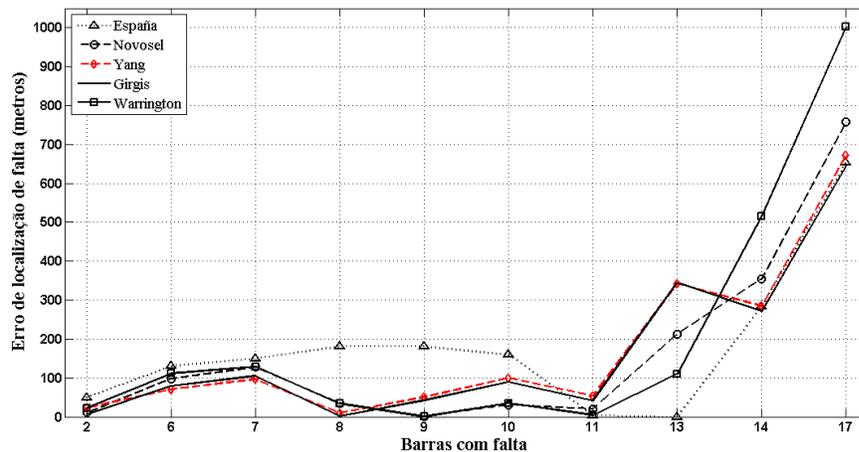


Figura 4.3 – Erros de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 21 barras.

Na Figura 4.3 é possível observar que os métodos de Espanha, Novosel, Yang e Girgis apresentam boa precisão, com erros inferiores a 800 metros em todos os casos de falta. O método de Warrington apresenta erro máximo de aproximadamente 1,0 km. Em [4] o autor considera aceitável erro de até 2% do comprimento máximo do alimentador. Ainda na Figura 4.3, nota-se que os erros de localização aumentam conforme o sistema de distribuição é submetido a faltas mais distantes da subestação. Por exemplo, para a falta monofásica na barra 2 (que está a 2,414 km da subestação), os cinco métodos apresentam erros de localização de faltas monofásicas inferiores à 100 metros, quando a posição da falta é alterada para a barra 17 (que está a aproximadamente 37 km da subestação), os erros ficam entre 600 e 1000 metros, sendo, para esse caso, o método de Warrington o menos eficaz na localização e o de Espanha e Girgis o de maior precisão.

Na Figura 4.4 são apresentados os erros de localização de faltas trifásicas para o sistema de 21 barras com a variação da posição da falta. Nessa figura observa-se que os erros foram inferiores a 325 metros. O método de Espanha destaca-se, pois apresenta erros de localização de faltas trifásicas menores que 150 metros. Os métodos de Novosel, Yang, Girgis e Warrington, apresentam desempenhos similares, sendo o de Novosel levemente superior. Os erros de localização são maiores para faltas aplicadas nas barras 6 a 9. Isso acontece, pois as barras 6, 8 e 9 possuem ramais laterais. Para esses métodos os erros de localização de faltas trifásicas são inferiores a 50 metros quando a falta é aplicada na barra 2 (2.414 km da subestação) e de aproximadamente 300 metros quando a falta é aplicada na barra 7 (aproximadamente 23 km

da subestação), mostrando assim clara influência da posição da falta no desempenho dos métodos. No método de Espanha o erro de localização é diretamente proporcional à distância entre a subestação e a barra faltosa. Quando a falta foi aplicada na barra 2 (2.414 km da subestação) o erro de localização de falta trifásica foi inferior a 25 metros e quando a falta foi aplicada na barra 11, o erro foi superior a 125 metros.

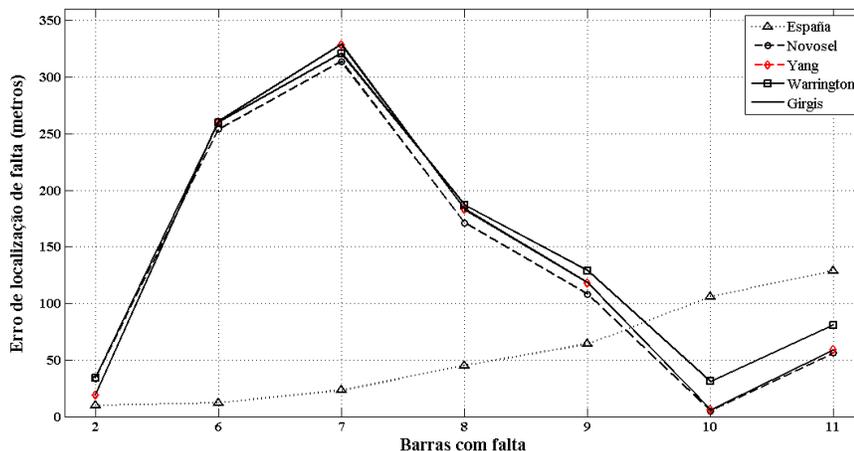


Figura 4.4 – Erros de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 21 barras.

#### 4.1.2 Sistema de 134 barras.

Na Figura 4.5 e Figura 4.6 são apresentados os erros de localização de faltas monofásicas e trifásicas, respectivamente, para o sistema de 134 barras. Os resultados apresentados na Figura 4.5 também são apresentados na quarta coluna das tabelas A.02, A.30, A.58, A.86 e A.114 do APÊNDICE A e os resultados apresentados na Figura 4.6 são reapresentados na quarta coluna das tabelas A.12, A.40, A.68, A.96 e A.124 do APÊNDICE A.

Observando a Figura 4.5 e Figura 4.6 nota-se que a variação da posição da falta também influencia o desempenho das metodologias de localização de faltas monofásicas e trifásicas no sistema de 134 barras. Na Figura 4.5 é possível notar que o método de Warrington é o que mais sofre influência da variação da posição da falta. Para esse método, os erros de localização de faltas monofásicas para as barras do início do circuito são inferiores a 200 metros e para as barras mais distantes da subestação (barras 103 a 118) os erros chegam a 700 metros.

No sistema de 134 barras o maior ramal possui comprimento de 4,27 km. O método de Girgis foi o que apresentou maiores erros de localização de faltas monofásicas para o sistema de 134 barras, com erro entre 500 e 600 metros para a barra do início do circuito e entre 800 e 900 metros para barras do final do circuito. Os erros de localização de faltas monofásicas ficaram entre 250 e 400 metros para o método de Yang, e entre 100 e 200 metros para o método de Novosel. O método de España apresentou erros inferiores a 150 metros com a variação da posição da falta, tendo apresentado erro máximo de aproximadamente 300 metros quando a barra 118, a barra a mais distante da subestação, está sob falta.

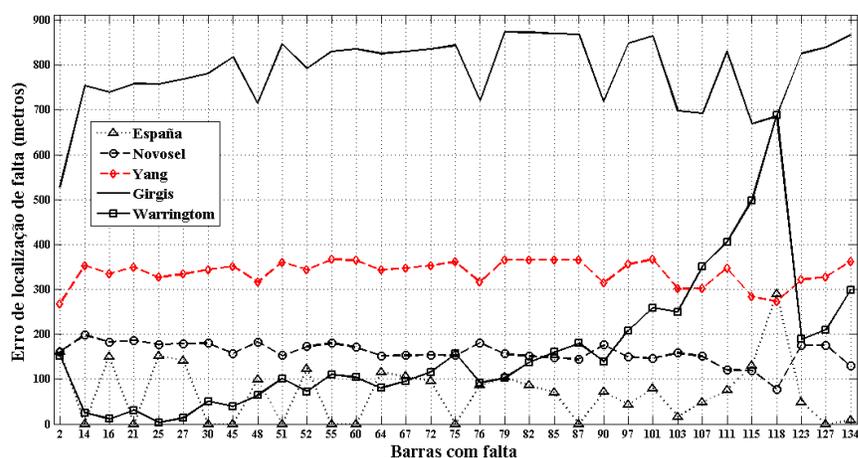


Figura 4.5 – Erros de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 134 barras.

A Figura 4.6 apresenta os erros de localização de faltas trifásicas com a variação da posição da falta.

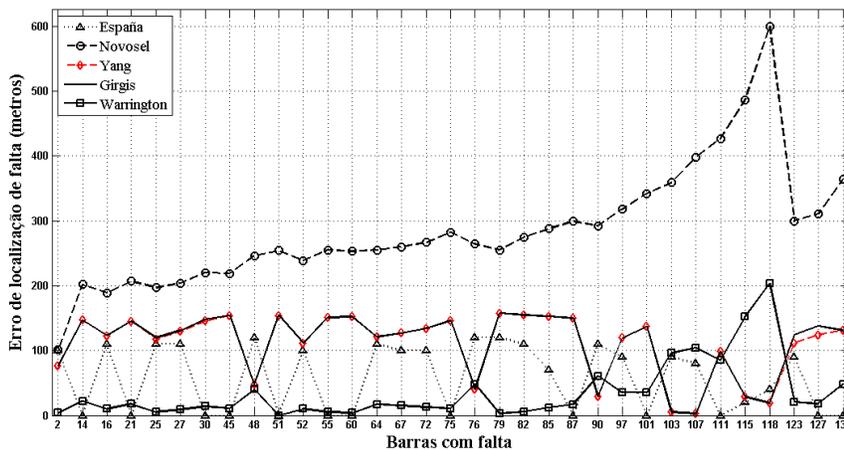


Figura 4.6 – Erros de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, para diferentes locais/barras com falta, sistema de 134 barras.

Nota-se na Figura 4.6 que o método de Novosel apresenta erro de localização de falta de aproximadamente 100 metros para a barra 2 e erro máximo de localização de falta trifásica de aproximadamente 600 metros para a barra 118. Os métodos de España, Yang, Girgis e Warrington apresentam erros inferiores a 200 metros para todos os locais/barras com faltas, sendo que os métodos de España, Yang e Girgis apresentam maiores alterações com a mudança dos locais com faltas. O método de Warrington apresentou erros próximos à zero para faltas aplicadas até a barra 87 e erro de localização de 200 metros para a barra mais distante da subestação (barra 118). O método de España apresentou erro de localização de falta trifásica nulo para algumas barras da Figura 4.6, geralmente essas barras são as extremidades dos circuitos.

A posição da falta, entre outros aspectos, influencia o desempenho da estimação da localização de falta devido à heterogeneidade dos alimentadores de distribuição, originada por cabos de diferentes bitolas e comprimentos. Além disso, a consideração de que as cargas estão agrupadas no final do alimentador fazem com que a corrente de carga seja diferente da corrente de medida na subestação. A medida em que o ponto de falta se distancia da subestação esta diferença é maior, aumentando o erro de localização de faltas. Nessa seção também se observa que os erros de localização de falta são maiores para faltas monofásicas do que para faltas trifásicas. Comportamento semelhante é observado em [4] e [9].

## 4.2 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DE FALTA NO DESEMPENHO DOS RELÉS DE DISTÂNCIA.

Na literatura de localização de faltas, os erros de localização de falta não são fornecidos como médias, geralmente são apresentados como nos gráficos da Seção 4.1 e tabelas presentes no APÊNDICE A, onde o erro de localização é a diferença entre a distância real da falta e a distância estimada pelos algoritmos (equação (4.1)). Nesta seção (e nas próximas), com o objetivo de comparar os resultados (apresentados no APÊNDICE A) e classificar os métodos, optou-se por apresentar os resultados como erros médios. Os erros médios são as médias das colunas das tabelas do APÊNDICE A que contém os erros de cada localização de falta feita para cada barra em falta, em km, e os erros máximos são os maiores erros de localização de falta que cada método obteve em cada uma destas colunas. Isso facilita a visualização e a discussão dos resultados. Os valores individuais dos erros obtidos em cada uma das faltas simuladas são mostrados em tabelas no apêndice desta dissertação.

Nesta seção, tanto no sistema de 21 barras como no de 134, foram aplicadas faltas monofásicas e trifásicas (indicadas na Figura 4.1 e Figura 4.2) com diferentes valores de resistência de falta e foram verificados os erros de localização obtidos com os cinco métodos avaliados.

Em [38], com o objetivo de determinar valores típicos de resistências de faltas em sistemas de distribuição, foram analisados dados de faltas coletadas durante seis anos em redes reais. A análise dos dados mostrou que a maioria das faltas monofásicas que ocorreram nos sistemas testados apresentou resistência variando de 8 a 25 $\Omega$ . Em [39], afirma-se que para faltas monofásicas as resistências podem apresentar valores maiores que 10 $\Omega$ . Em [40] destaca-se que em casos de árvores encostadas nos cabos a resistência pode variar entre 50 $\Omega$  a 100 $\Omega$  e em casos de condutores caídos em terrenos de elevada resistividade ou mesmo em queimadas, as resistências podem ser da ordem de 15 $\Omega$  a 40 $\Omega$ . Nos casos de faltas entre fases, as resistências são pequenas, em geral menores que 0,5  $\Omega$ , conforme [39]. Em [41] afirma-se que o valor usual da resistência de faltas trifásicas é de até 1 $\Omega$ . Com base nestas afirmações e em outros relatos observados na literatura, os valores de resistência de falta testados são os apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ), para teste na variação da  $R_f$ .

| Faltas             | Monofásica     | Trifásica |
|--------------------|----------------|-----------|
| $R_f$ ( $\Omega$ ) | 5, 20, 40 e 60 | 1 e 5     |

Na seção 4.2.1 é analisada a influência da resistência de falta no desempenho dos relés de distância, considerando o sistema de 21 barras. Na seção 4.2.2 a análise da seção anterior é repetida para o sistema de 134 barras. Para os resultados apresentados nas seções 4.2.1 e 4.2.2, considera-se que os sistemas de 21 e 134 barras estão operando com carregamento nominal.

#### 4.2.1 Sistema de 21 barras.

Com o objetivo de sintetizar a extensa quantidade de resultados requeridos nesta seção, as figuras mostradas contêm apenas médias e erros máximos. Entretanto, todos os erros individuais obtidos são mostrados no APÊNDICE A. As legendas das figuras indicam as tabelas do APÊNDICE A onde os dados detalhados estão disponíveis.

Na Figura 4.7 é possível visualizar os erros médios e máximos obtidos com cada um dos métodos, quando faltas monofásicas com diferentes resistências foram aplicadas nas barras da rede de 21 barras. Assim, por exemplo, o método de Warrington apresentou um erro médio de aproximadamente 200 m quando faltas monofásicas com resistência de  $5\Omega$  foram aplicadas em todas as barras da rede de 21 barras, mostradas na Figura 4.1. Neste caso, o erro máximo foi de aproximadamente 1 km.

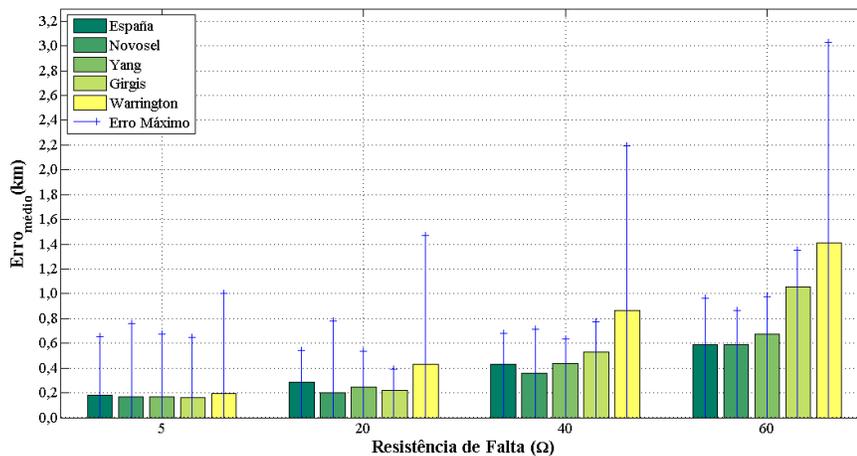


Figura 4.7 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras – Dados retirados das tabelas: A.01., A.29., A.57., A.85., A.113.

A Figura 4.7 mostra que os erros médios de localização de faltas monofásicas, para  $R_f$  de  $5\Omega$ , são inferiores a 200 metros para os cinco métodos, e os erros máximos, para a mesma resistência de falta, exceto para o método de Warrington (que tem erro máximo aproximadamente igual a 1 km), ficam entre 600 e 800 metros. Nesta análise destaca-se o método de Warrington por apresentar erro médio baixo, mas erro máximo de aproximadamente 1,0 km.

Para  $R_f$  de  $20\Omega$  é válida a mesma análise feita anteriormente para o método de Warrington, que apresenta erro máximo de localização de falta de 1,5 km. Os métodos de Espanha, Novosel, Yang e Girgis apresentaram erros médios levemente superiores a 200 metros. Em comparação com o caso de  $5\Omega$ , observa-se que os métodos de Espanha, Yang e Girgis apresentaram erros máximos menores, porém os erros médios foram levemente superiores.

Para  $R_f$  de  $40\Omega$  os erros máximos apresentados pelos métodos de Espanha, Novosel, Yang e Girgis ficam entre 600 e 800 metros, e seus erros médios ficaram na faixa de 390 a 550 metros. Em comparação com as resistências menores, o método de Warrington apresentou maiores erros com o aumento da resistência. Os demais métodos apresentaram erros médios um pouco superiores, mas com erros máximos similares.

Para a resistência de falta de  $60\Omega$ , os métodos de Girgis e Warrington apresentam erros máximos de aproximadamente 1,4 km e 3,0 km, respectivamente. Os erros médios para estas duas metodologias são superiores a 1,0 km. Os métodos de Espanha, Novosel e Yang, apresentam erros máximos em torno de 800 a 1000 metros e erros médios entre 600 e 700 metros.

De modo geral, foi observado que os erros aumentam com o aumento da resistência de falta. Por exemplo, para o método de Warrington, com as resistências de falta de 5, 20, 40 e  $60\Omega$  são obtidos erros médios aproximados de 200, 400, 850 e 1400 metros, respectivamente. Os métodos de Espanha, Novosel, e Yang apresentaram menores aumentos nos erros médios que os métodos de Girgis e Warrington.

Na Figura 4.8 é possível visualizar os erros médios e máximos quando o sistema de 21 barras é submetido à faltas trifásicas. No caso de faltas trifásicas de  $1\Omega$ , os erros máximos são de aproximadamente 300 metros para os métodos de Novosel, Yang, Girgis e Warrington. Para o método de Espanha o erro máximo de localização de falta trifásica foi de aproximadamente 150 metros. No caso da resistência de  $5\Omega$ , os erros médios e máximos não sofreram alterações significativas, tendo sido observadas leves reduções.

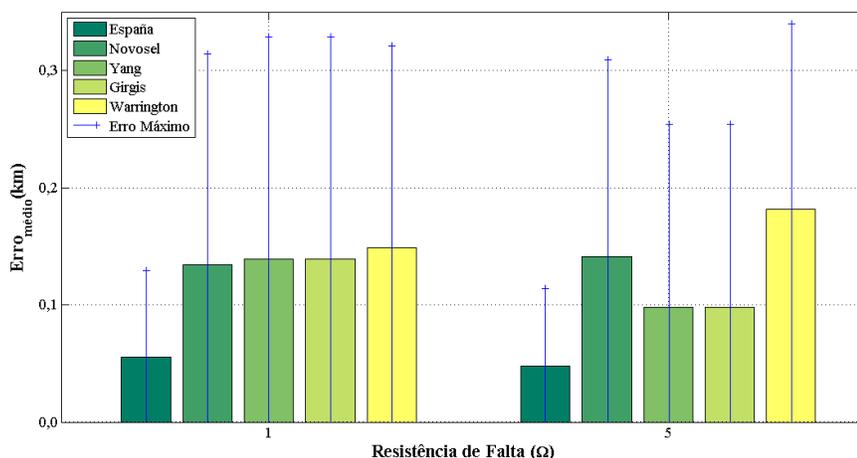


Figura 4.8 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras – Dados retirados das tabelas: A.11., A.39., A.67., A.95., A.123..

#### 4.2.2 Sistema de 134 barras.

Na Figura 4.9 são mostrados os erros médios e máximos da localização de faltas monofásicas aplicadas ao sistema de 134 barras. De acordo com a figura, para  $R_f$  de  $5\Omega$  os métodos de Espanha e Novosel têm erros médios inferiores a 100 e 200 metros, respectivamente. Os erros máximos para estas duas metodologias são de aproximadamente 300 e 200 metros. O método de Warrington para  $R_f$  de  $5\Omega$  tem erro médio inferior a 200 metros, entretanto, o erro máximo de localização chega em 800 metros. Para as demais resistências de falta os erros máximos do método de Warrington ficam maiores, chegando a 5,2 km. O método de Yang, para todas as resistências avaliadas, apresenta erros médios de 400, 1200, 2400 3400 metros. O método de Girgis apresenta erros médios de até 5,4 km. Portanto, os métodos de Yang, Girgis e Warrington, para todos os valores de resistência de falta, não apresentaram desempenho satisfatório para faltas monofásicas aplicadas ao sistema de 134. Estes métodos apresentaram erros que chegam a ser maiores que o comprimento máximo de circuito principal do sistema.

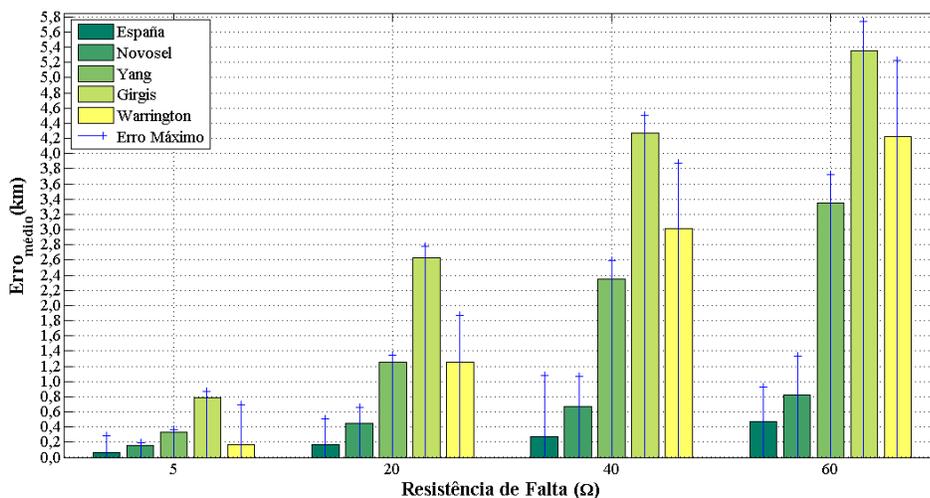


Figura 4.9 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras – Dados retirados das tabelas: A.02., A.30., A.58., A.86., A.114..

O método de Espanha, para resistência de falta de  $20\Omega$ , tem erro médio de cerca de 200 metros e erro máximo aproximadamente 500 metros. Quando a resistência sobe para 40 e  $60\Omega$  o método de Espanha apresenta erros máximos bastante significativos, chegando a 1,2 e 1,0 km, respectivamente. Entretanto, os seus erros médios observados para  $40\Omega$  e  $60\Omega$  são de aproximadamente 300 e 500 metros, respectivamente. Mesmo com erros médios baixos para todas as resistências, o método de Espanha apresentou precisão satisfatória apenas para a resistência de  $5\Omega$ . De modo geral, o método de Novosel apresentou um comportamento um pouco inferior ao apresentado pelo método de Espanha.

A Figura 4.10 ilustra os erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas aplicadas no sistema de 134 barras. Na localização de faltas trifásicas com  $R_f$  de  $1\Omega$ , somente o método de Novosel apresentou erro máximo de 600 metros e erro médio de aproximadamente 300 metros. Os métodos de Espanha, Yang, Girgis e Warrington apresentam erros médios de aproximadamente 100 metros. Nos métodos de Espanha e Warrington os erros médios são inferiores a 50 metros. Destaca-se que para  $R_f$  de  $1\Omega$  o método de Espanha apresentou erro máximo de aproximadamente 100 metros.

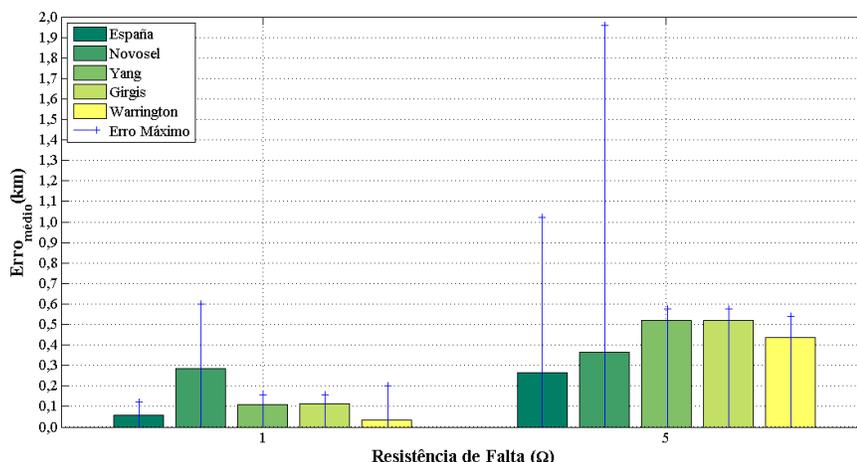


Figura 4.10 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras – Dados retirados das tabelas: A.12., A.40., A.68., A.96., A.124..

Para  $R_f$  de  $5\Omega$  os erros de localização de faltas trifásicas se elevam significativamente, entretanto, a resistência típica de uma falta trifásica é de até  $1\Omega$ .

Nas análises feitas para o sistema de 21 barras constatou-se que para faltas monofásicas os métodos de España, Novosel, Yang e Gírgis alcançaram boa precisão para resistências de falta de até  $40\Omega$ . No sistema de 134 barras somente os métodos de España e Novosel apresentaram precisão razoável e apenas para a resistência de  $5\Omega$ . No caso de faltas trifásicas aplicadas ao sistema de 21 barras, todas as metodologias apresentaram boa precisão. No sistema de 134 barras, considerando a resistência de  $1\Omega$ , apenas a metodologia de Novosel não foi bem sucedida. Destaca-se novamente que  $1\Omega$  é o valor máximo esperado para a resistência de faltas trifásicas.

### 4.3 INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO DOS SISTEMAS NO DESEMPENHO DOS RELÉS DE DISTÂNCIA.

Nesta seção o desempenho das metodologias de localização automática de faltas é analisado quando o carregamento dos sistemas de teste é elevado a 175% do carregamento nominal (CN). Nas seções anteriores o carregamento era de 100% do CN. Apesar de o carregamento ser um aspecto determinante para o desempenho da maioria das metodologias de localização, este aspecto geralmente é negligenciado nas avaliações dos relés de distância.

As resistências de falta usadas nesta seção são mostradas na Tabela 4.2. Apenas os maiores e os menores valores de resistência de faltas foram selecionados por simplicidade. Resultados de testes realizados considerando carregamentos de 125% e 150% de CN podem ser observados nas tabelas que estão indicadas nas descrições das figuras desta seção. Nas tabelas do APÊNDICE A também são apresentados resultados para a variação no CN dos sistemas de 21 e 134 barras, para as resistências de faltas monofásicas de 20 e 40  $\Omega$ .

Tabela 4.2 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ), para teste na variação no carregamento nominal.

| Faltas         | Monofásica | Trifásica |
|----------------|------------|-----------|
| $R_f (\Omega)$ | 5 e 60     | 1 e 5     |

#### 4.3.1 Sistema de 21 barras.

Na Figura 4.11 são apresentados os erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para o sistema de 21 barras com carregamento de 175% da CN. Para resistência de falta de 5 $\Omega$ , os métodos de Espanha, Novosel, Yang e Girgis, apresentam erros máximos na faixa de 600 e 800 metros. Resultados similares foram obtidos no caso do sistema operando com carga nominal. Para esses quatro métodos a variação da carga nominal não exerce influência significativa na localização de falta. No método de Warrington, para faltas monofásicas com  $R_f$  de 5 $\Omega$ , o erro máximo com carga nominal foi 1 km e com o aumento da carga este erro chega a 1,4 km.

Para  $R_f$  de 60 $\Omega$  os erros máximos de todas as metodologias são fortemente afetados quando a carga nominal do sistema se eleva em 175%. Os erros máximos apresentados pelas cinco metodologias, para carga nominal, são de aproximadamente 1000, 900, 1000, 1400 e 3000 metros. Com o carregamento de 175% da carga nominal os erros máximos são de 1600, 1650, 1700, 2400 e 3400 metros. Os erros médios também aumentam significativamente, sendo o menor erro médio de localização de falta, obtido pelo o método de Espanha, igual a 900 metros. Os erros de localização de faltas monofásicas, para  $R_f$  de 5 e 60 $\Omega$ , com cargas variando entre 125% e 150% da carga nominal ficaram um pouco abaixo dos erros mostrados nesta seção.

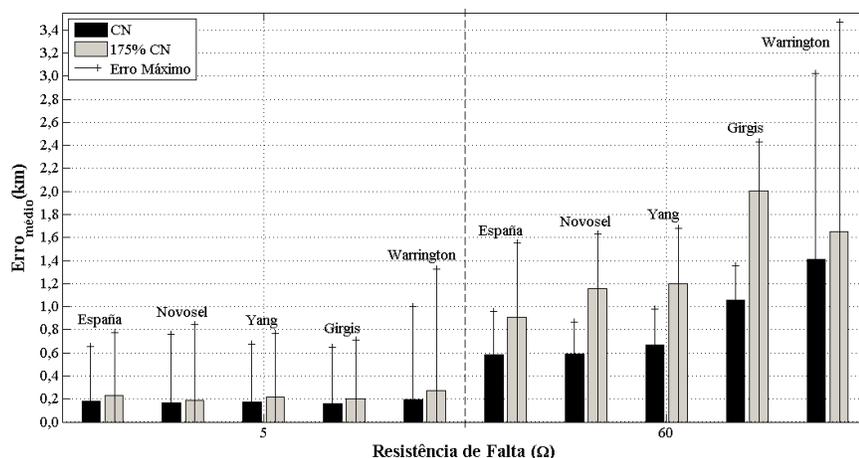


Figura 4.11 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.03., A.31., A.59., A.87., A.115. e A.09., A.37., A.65., A.93., A.121..

A Tabela 4.3 apresenta os valores dos erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as resistências de falta de 20 e 40 Ω. Para  $R_f$  de 20Ω, os erros médios para a condição de carga nominal (CN) são 288, 200, 249, 222, 429 metros e com o aumento do carregamento para 175%, os erros médios aumentam para 401, 275, 378, 387 e 574 metros. Os erros máximos para condição de carga nominal eram 544, 782, 534, 392 e 1471 metros, e para carregamento de 175% passam para 610, 680, 549, 595 e 1851 metros. Para  $R_f$  de 40Ω o método de Novosel apresenta a melhor precisão.

Tabela 4.3 – localização de falta monofásica estimada pelas cinco metodologias, sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 e 40Ω e variação do carregamento nominal do sistema (CN) – Dados retirados das tabelas: A.05., A.33., A.61., A.89., A.117. e A.07., A.35., A.63., A.91., A.119..

|            | Erro médio (km) - CN | Erro médio (km) -175% CN | Erro máximo (km) - CN | Erro máximo (km) – 175% CN |
|------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 20Ω        |                      |                          |                       |                            |
| España     | 0,288                | 0,401                    | 0,544                 | 0,610                      |
| Novosel    | 0,200                | 0,275                    | 0,782                 | 0,680                      |
| Yang       | 0,249                | 0,378                    | 0,534                 | 0,549                      |
| Girgis     | 0,222                | 0,387                    | 0,392                 | 0,595                      |
| Warrington | 0,429                | 0,574                    | 1,471                 | 1,851                      |
| 40Ω        |                      |                          |                       |                            |
| España     | 0,430                | 0,646                    | 0,680                 | 1,080                      |
| Novosel    | 0,356                | 0,583                    | 0,713                 | 0,863                      |
| Yang       | 0,436                | 0,751                    | 0,637                 | 1,115                      |
| Girgis     | 0,532                | 1,076                    | 0,773                 | 1,409                      |
| Warrington | 0,862                | 1,068                    | 2,194                 | 2,622                      |

Na Figura 4.12 são apresentados os erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para o sistema de 21 barras. Conforme a figura, os erros médios e máximos obtidos para o carregamento de 175% são similares aos erros obtidos como carregamento de 100%. Portanto, para o caso de faltas trifásicas, as metodologias sofrem pouca interferência da variação no carregamento.

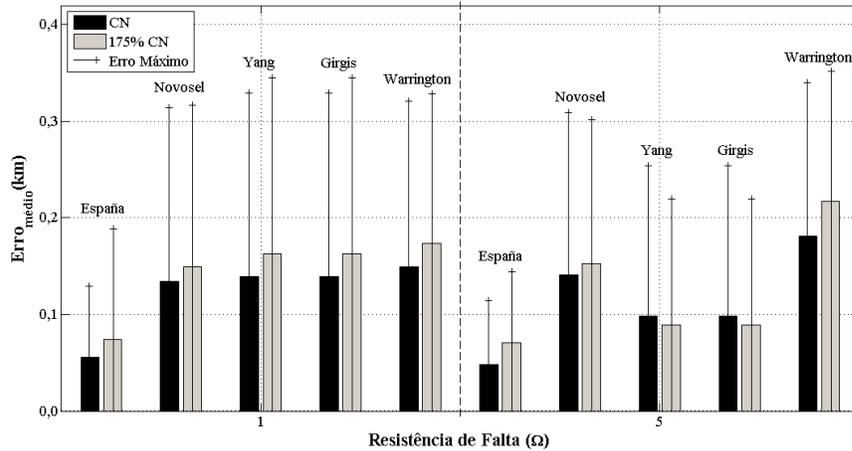


Figura 4.12 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.13., A.41., A.69., A.97., A.125. e A.15., A.43., A.71., A.99., A.127..

### 4.3.2 Sistema de 134 barras.

A Figura 4.13 apresenta os erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para o sistema de 134 barras quando o carregamento do sistema passa para 175%. Com  $R_f$  de 5Ω os métodos de España, Novosel e Warrington apresentaram erros médios de aproximadamente de 100, 300 e 300 metros, respectivamente, entretanto, os erros máximos são de aproximadamente de 400, 350 e 1000 metros, respectivamente. Com a elevação no carregamento, os métodos de Yang, Girgis e Warrington não apresentaram bom desempenho tanto para  $R_f$  de 5Ω como 60Ω. Para  $R_f$  de 60Ω o método de España apresenta erro máximo de 3,6 km e erro médio de 1,2 km. Nestas mesmas condições o método de Novosel apresenta erro médio de aproximadamente 1,0 km e erro máximo de 1,6 km.

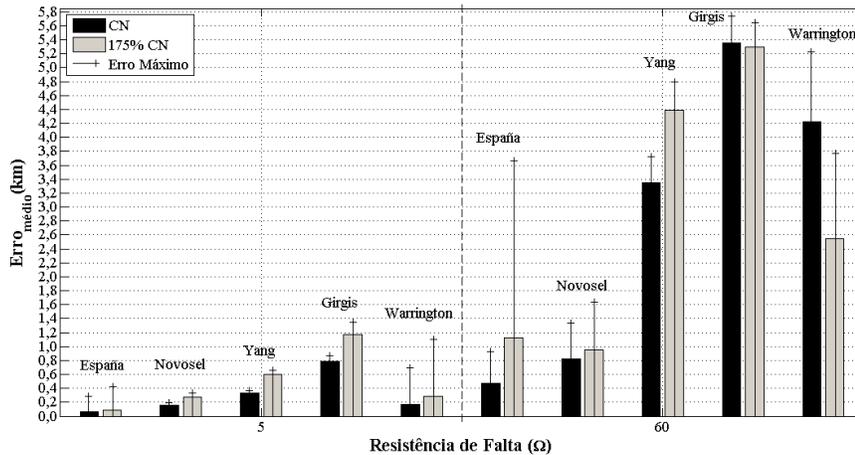


Figura 4.13 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.04., A.32., A.60., A.88., A.116. e A.10., A.38., A.66., A.94., A.122..

A Figura 4.14 apresenta os erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas no sistema de 134 barras quando há variação no carregamento nominal do sistema. O erro máximo obtido pela aplicação do método de Warrington chega a aproximadamente 350 metros (com carga nominal era aproximadamente 200 metros) e seu erro médio passa a ser de aproximadamente 50 metros. Os métodos de Yang e Girgis passam a ter erros médios de aproximadamente 175 metros e erros máximos de aproximadamente 250 metros. O método de España passa a ter erro médio e máximo de localização de faltas trifásicas de aproximadamente 100 e 200 metros, respectivamente. O método de Novosel apresenta erros máximos e médios elevados com o aumento da carga. Para  $R_f$  de  $5\Omega$ , os erros médios e máximos de todos os métodos com carregamento de 175% são muito elevados.

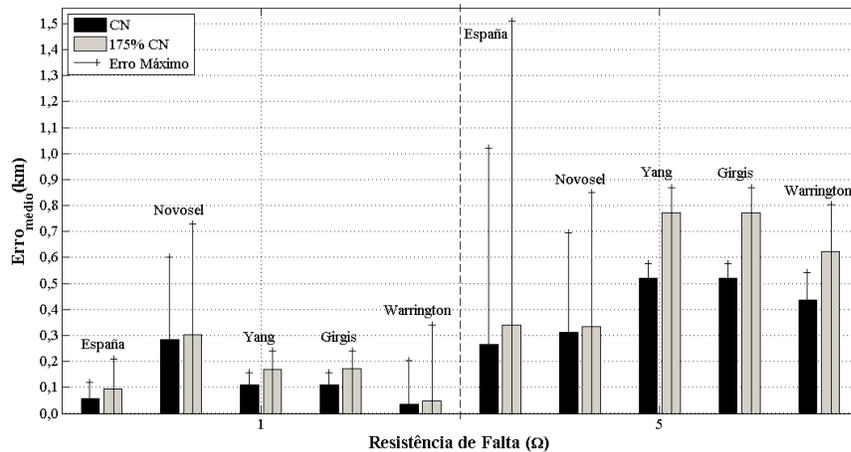


Figura 4.14 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras e variação no Carregamento Nominal (CN) – Dados retirados das tabelas: A.14., A.42., A.70., A.98., A.126. e A.16., A.44., A.72., A.100., A.128..

#### 4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS SEÇÕES ANTERIORES

A Tabela 4.4 e a Tabela 4.5 resumem os resultados descritos nas seções 4.1, 4.2 e 4.3. Nos testes apresentados, para faltas monofásicas com resistência superior a  $5\Omega$  aplicadas no sistema de 134 barras, nenhum dos métodos avaliados solucionou adequadamente o problema. Observando as Tabela 4.4 e Tabela 4.5 verifica-se, portanto, a necessidade de desenvolvimento de métodos que localizem faltas monofásicas em redes com carregamento maiores, e para resistências de falta superiores a  $5\Omega$ . No caso de faltas trifásicas, os métodos de España, Yang e Girgis se mostraram adequados nos sistemas de 21 barras e 134 barras.

Portanto, ao contrário do que a literatura indica, nenhum dos métodos avaliados se mostrou completamente robusto e adequado para a solução do problema de localização de faltas. Entre os métodos avaliados, o método de España se mostrou ligeiramente superior aos demais e, assim, acredita-se que este método possa ser usado como parte de uma metodologia de localização de falta.

Tabela 4.4 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos apresentam bom desempenho para faltas monofásicas e trifásicas, para os sistemas operando com carregamento nominal.

| Métodos | Sistema        | 21 barras   |            | 134 barras |           |            |
|---------|----------------|-------------|------------|------------|-----------|------------|
|         | Tipo de Faltas | Monofásica  | Trifásica  | Monofásica | Trifásica |            |
| Métodos | Novosel        | 40 $\Omega$ | 1 $\Omega$ | 5 $\Omega$ | x         |            |
|         | España         |             |            | 1 $\Omega$ | x         | 1 $\Omega$ |
|         | Yang           |             |            |            | x         |            |
|         | Girgis         |             |            |            | x         |            |
|         | Warrington     | X           |            | x          |           |            |

x → Método não indicado para nenhum valor de resistência de falta.

Tabela 4.5 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos apresentam bom desempenho quando há variação no carregamento para 175%.

| Métodos | Sistema        | 21 barras   |            | 134 barras |            |            |
|---------|----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
|         | Tipo de Faltas | Monofásica  | trifásica  | Monofásica | trifásica  |            |
| Métodos | Novosel        | 40 $\Omega$ | 1 $\Omega$ | x          | x          |            |
|         | España         | 20 $\Omega$ |            | 1 $\Omega$ | 5 $\Omega$ | 1 $\Omega$ |
|         | Yang           |             |            |            | x          |            |
|         | Girgis         |             |            |            | x          |            |
|         | Warrington     | x           |            | x          | x          |            |

x → Método não indicado para nenhum valor de resistência de falta.

Em geral, os relés de distância tiveram melhor desempenho para o sistema de 21 barras. Nesse sistema, e dentro das condições verificadas neste capítulo, há métodos que localizam faltas com precisão para resistência de falta de até 40 $\Omega$ , como pode ser observado nas tabelas anteriores. Para melhor entendimento desse comportamento a Figura 4.15 se faz necessária. A Figura 4.15 (a) apresenta um sistema de três barras como uma carga em cada barra ( $Z_{c1}$ ,  $Z_{c2}$  e  $Z_{c3}$ ), impedâncias ( $Z_{L1}$ ,  $Z_{L2}$  e  $Z_{L3}$ ) de cada ramo, tensão (V) e corrente ( $I_{SR}$ ) medidas na subestação (SE) e a corrente ( $I_{c1}$ ) na carga da primeira barra. Nos métodos que consideram a carga de maneira aproximada (España e Novosel), as cargas aproximadas são calculadas a partir da relação entre tensão e corrente pré-falta na SE. Para isso, como dito no Capítulo 3, os métodos consideram que as cargas são alocadas na extremidade do circuito, conforme mostra a Figura 4.15 (b).

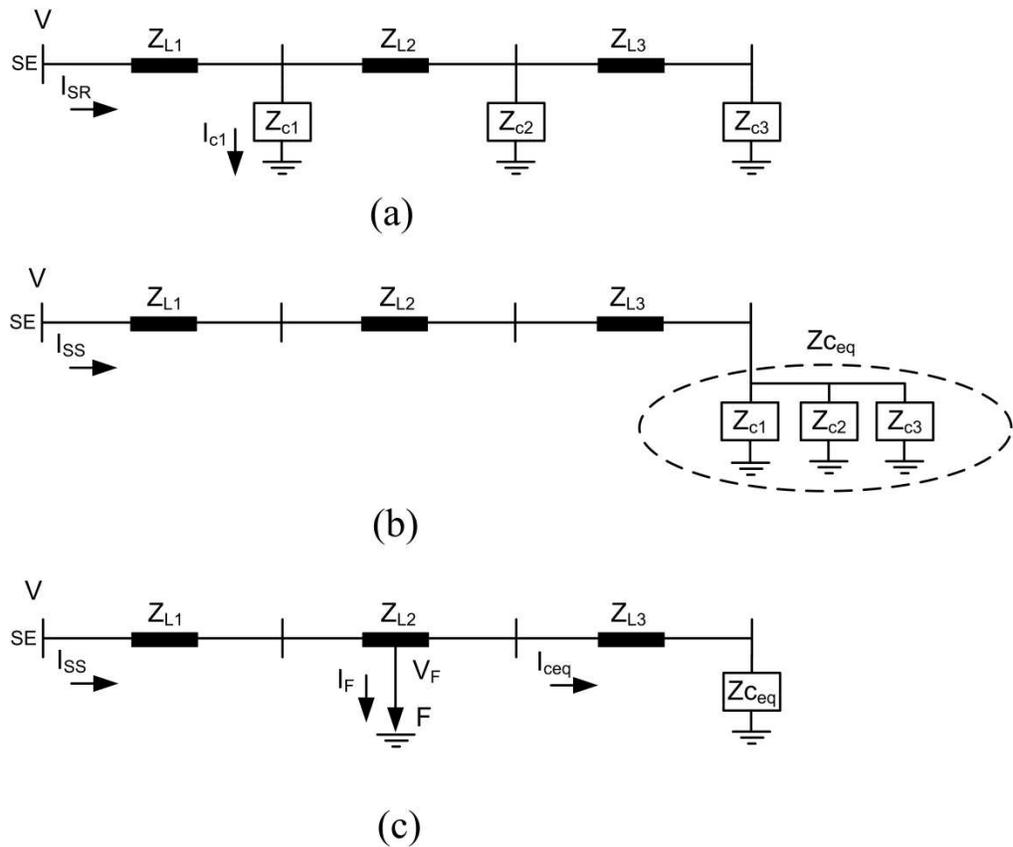


Figura 4.15 – Sistema exemplo de 3 barras.

No método de España, para determinar a tensão e a corrente na falta ( $V_F$  e  $I_F$ ), Figura 4.15 (c), usa-se a corrente ( $I_{SS}$ ) do sistema simplificado e não a corrente do sistema real ( $I_{SR}$ , Figura 4.15 (a)). No sistema de 21, as impedâncias das cargas ao longo do sistema são muito elevadas, de modo que na ocorrência de uma falta essas impedâncias drenam correntes muito pequenas (quase nulas), fazendo com que a aproximação  $I_{SS} = I_{SR}$  seja válida. No sistema de 134 barras as impedâncias das cargas distribuídas ao longo do circuito são elevadas, porém drenam maiores correntes, de modo que a aproximação  $I_{SS} = I_{SR}$  deixa de ser válida em alguns casos. Esse fato faz com que o método consiga ter melhor desempenho para diferentes situações no sistema de 21 barras.



## CAPÍTULO 5

### ANÁLISE DOS RELÉS DE DISTÂNCIA COM A PRESENÇA DE GD

Neste capítulo são apresentados testes e resultados obtidos com a aplicação das metodologias de localização de faltas nos sistemas de 21 e 134 barras quando nesses sistemas há geradores distribuídos (GD). Na literatura há metodologias voltadas à localização de falta ([42]-[47]) em redes de distribuição contendo GD. Entretanto, para localizar faltas, essas metodologias necessitam de informações de tensão, corrente e impedância equivalente, obtidas no local onde os geradores distribuídos estão instalados. Dada às características dos sistemas de distribuição reais, onde geralmente não há comunicação de dados para os geradores distribuídos, este capítulo foi proposto.

Este capítulo tem como objetivo verificar se as metodologias de localização de faltas propostas para redes radiais podem ser usadas em redes cujos fluxos de potências não são mais unidirecionais, característica de redes com geração distribuída.

O modelo elétrico do gerador distribuído usado para simulação no ATP é o modelo de gerador síncrono durante o período de tempo subtransitório [48]. O modelo é representado por uma reatância subtransitória em série com a resistência da armadura e a tensão interna do gerador. Neste trabalho, em cada sistema estudado foram instalados dois geradores distribuídos. No sistema de 21 barras, o gerador distribuído 1 (GD-1) injeta na rede 0,5% da potência da subestação e o gerador distribuído 2 (GD-2) injeta 10%. No sistema de 134 barras, o gerador distribuído 1 (GD-1) injeta na rede 0,5% da potência da subestação e o gerador distribuído 2 (GD-2) injeta 10%. As Tabela 5.1 e Tabela 5.2 apresentam os dados dos GD instalados nos sistemas de 21 e 134 barras, respectivamente.

Tabela 5.1 – Dados dos geradores distribuídos do sistema de 21 barras.

| GD   | Tensão (kV) | Potência Nominal (MVA) | X/R  |
|------|-------------|------------------------|------|
| GD-2 | 25,00       | 4,000                  | 5,04 |
| GD-1 | 4,60        | 0,193                  | 5,04 |

Tabela 5.2 – Dados dos geradores distribuídos do sistema de 134 barras.

| GD   | Tensão (kV) | Potência Nominal (MVA) | X/R  |
|------|-------------|------------------------|------|
| GD-2 | 13,80       | 9,8750                 | 6,63 |
| GD-1 | 13,80       | 0,4904                 | 6,63 |

Para os testes realizados no sistema de 21 barras os geradores distribuídos foram instalados nas barras 11 e 12, conforme mostram as Figura 5.1 e Figura 5.2, respectivamente. Para os testes no sistema de 134 barras, os geradores distribuídos foram instalados nas barras 114 e 14, conforme mostram as Figura 5.3 e Figura 5.4, respectivamente. Nos sistemas testados as barras sob falta são indicadas por um X, elas são as mesmas barras utilizadas no capítulo anterior.

Na Seção 5.1 é verificado o efeito da variação nos níveis de penetração de GD no desempenho dos métodos de localização automática de faltas. Na Seção 5.2 é verificado o efeito da variação da resistência de falta quando as redes de teste estão operando com o maior nível de penetração de GD. Na Seção 5.3 é verificado o efeito da variação do carregamento dos sistemas quando os sistemas estão operando com o maior nível de penetração de GD. Na Seção 5.4 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos. Novamente, os erros de localização de faltas monofásicas e trifásicas são apresentados como médias e máximas, como nas Seções 4.2 e 4.3.

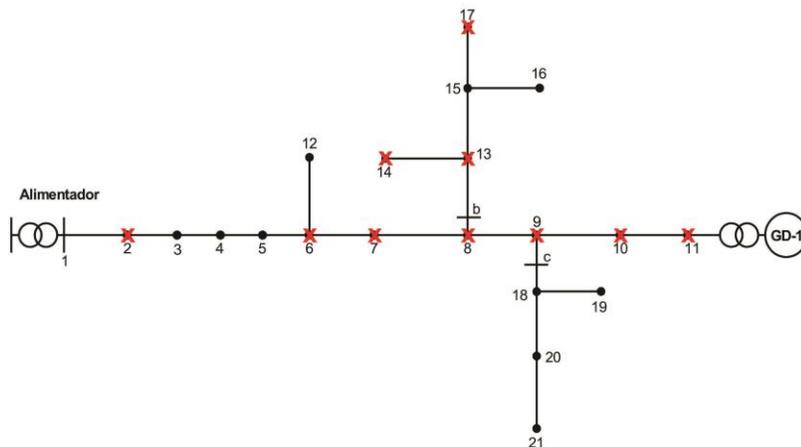


Figura 5.1 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível pequeno de penetração de geração distribuída (GD-1).

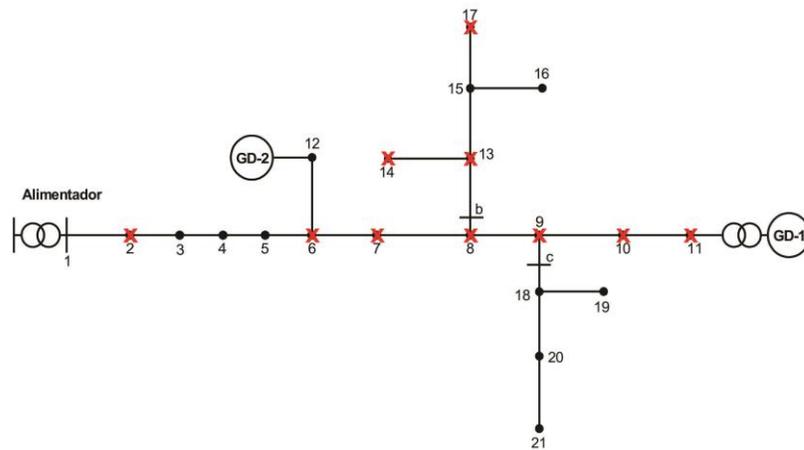


Figura 5.2 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível elevado de penetração de geração distribuída (GD-1 e GD-2).

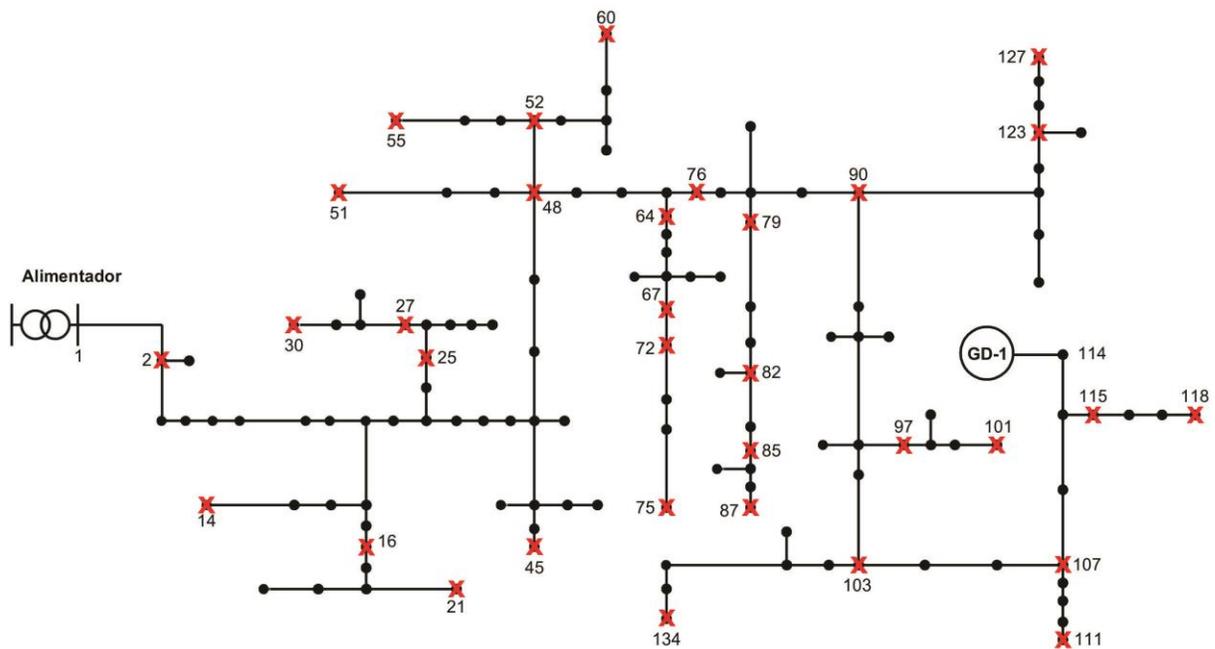


Figura 5.3 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível pequeno de penetração de geração distribuída (GD-1).

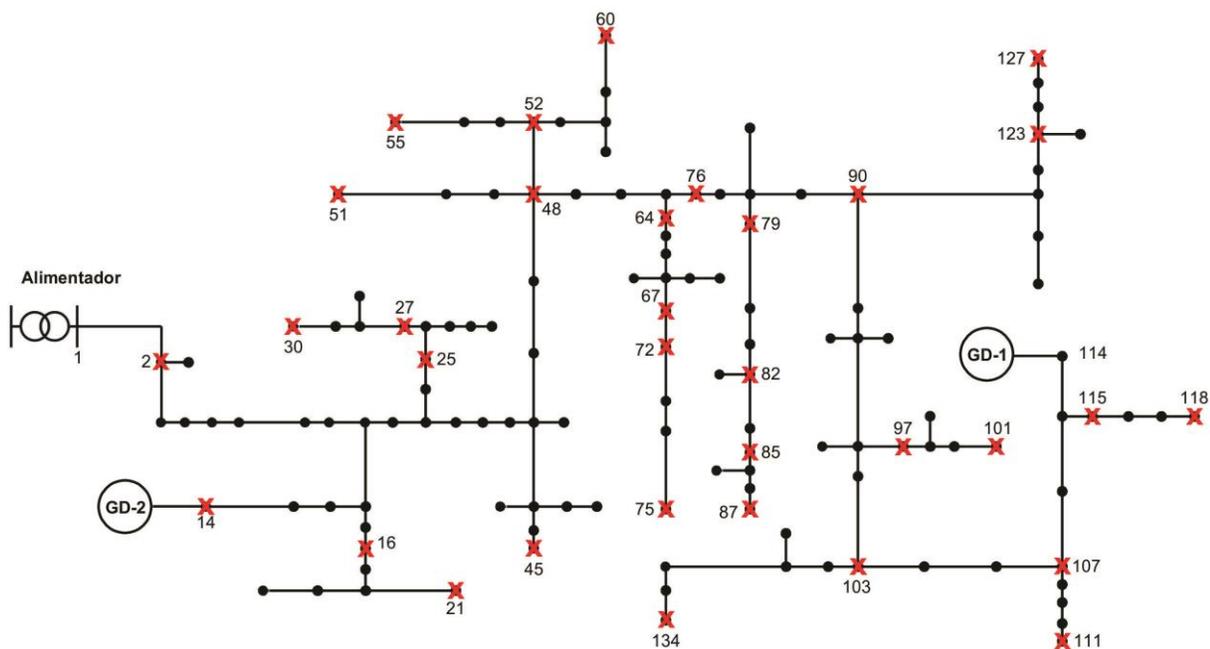


Figura 5.4 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV, com as faltas aplicadas (não simultaneamente) e nível elevado de penetração de geração distribuída (GD-1 e GD-2).

### 5.1 INFLUÊNCIA DE DIFERENTES NÍVEIS DE PENETRAÇÃO DE GD NO DESEMPENHO DOS RELÉS.

O desempenho dos métodos é verificado para os sistemas de 21 e 134 barras quando um ou dois geradores distribuídos são instalados nas redes. É verificado o desempenho tanto para faltas monofásicas como trifásicas. São comparados os erros de localização de faltas nos sistemas sem GD (nos gráficos denominados – Sem GD), com a introdução de um pequeno gerador (nos gráficos denominado – Com GD-1) e com a introdução de dois geradores (nos gráficos denominados – Com GD-1 e GD-2). O gerador DG-1 possui potência nominal de 0,5% da potência da subestação e o gerador GD-2 possui potência nominal de 10% da potência da subestação.

Nesta seção, para casos de faltas monofásicas foi adotado uma a resistência de falta de  $5\Omega$ , para as faltas trifásicas foi adotada uma resistência de falta de  $1\Omega$  e os dois sistemas estão operando com cargas nominais.

### 5.1.1 Sistema de 21 barras.

Na Figura 5.5 são apresentados os erros máximos e médios de localização de faltas monofásicas obtidos com a aplicação das metodologias no sistema de 21 barras com diferentes níveis de penetração de geração distribuída (GD). Observando a figura, os erros médios e máximos apresentados para a condição “Sem GD” são reapresentados para comparação.

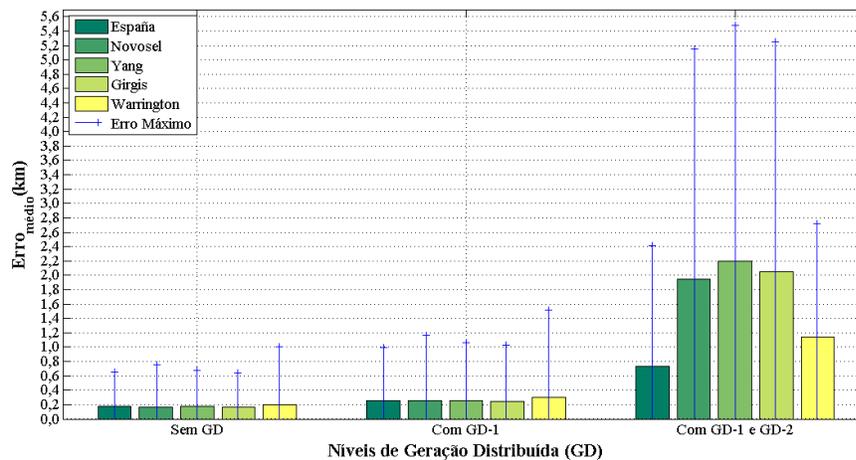


Figura 5.5 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias e sistema de 21 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.17., A.45., A.73., A.101., A.129..

No Capítulo 4, o método de Warrington, embora apresentasse baixo erro médio, não localizava faltas monofásicas com precisão, pois para resistência de falta de  $5\Omega$  apresentava erro máximo de localização de falta de aproximadamente 1000 metros. Nesta mesma condição de falta as demais metodologias apresentaram bom desempenho, com erros médios inferiores a 200 metros e máximos entre 600 e 800 metros. Com a inserção do gerador distribuído 1 (Com GD-1), nota-se que os erros máximos das cinco metodologias são de aproximadamente 1000, 1200, 1050, 1000 e 1600 metros, e os erros médios ficam entre 200 e 400 metros. Esses erros máximos são considerados elevados e, portanto para esse nível de geração distribuída, os métodos de localização de faltas são inadequados. De modo geral, de acordo com os resultados mostrados na Figura 5.5, a metodologia de Espanha apresentou os menores erros.

Ainda na Figura 5.5, considerando os dois geradores (Com GD-1 e GD-2) a localização de faltas é fortemente deteriorada. Os erros máximos são de aproximadamente 2400,

5200, 5400, 5200 e 2800 metros e os erros médios são maiores que 700 metros. Portanto, com a inserção de geradores distribuídos no sistema de 21 barras, nenhuma das metodologias foi capaz de localizar adequadamente faltas monofásicas.

A Figura 5.6 mostra os erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para quando o sistema de 21 barras é submetido a diferentes níveis de penetração de GD. Conforme resumo apresentado na Tabela 4.4 e Tabela 4.5 (Capítulo 4), as metodologias testadas se mostraram adequadas para localizar faltas trifásicas no sistema de 21 barras sem GD. Considerando apenas o gerador 1, os erros médios e máximos continuam aceitáveis. Destaca-se o método de Espanha (Com GD-1) que apresenta erros máximos e médios inferiores 100 metros. Com a inserção do segundo gerador distribuído (Com GD-1 e GD-2), os resultados obtidos não são adequados, com erros médios sempre superiores a 700 metros e os erros máximos chegando a 2,4 km.

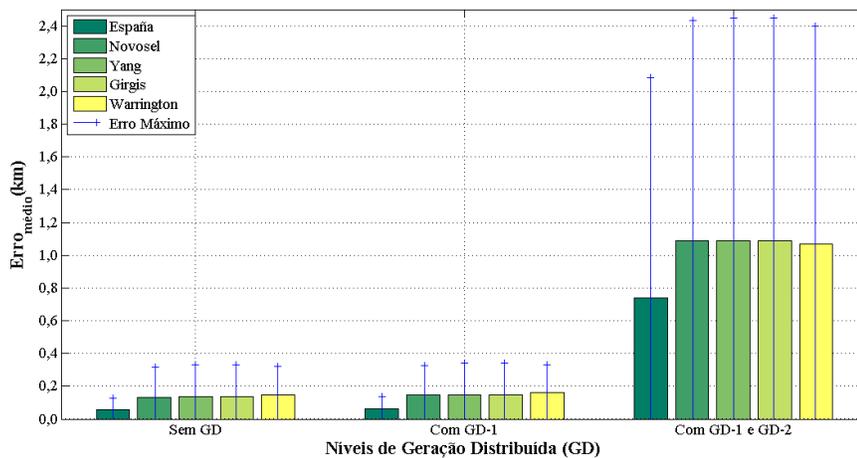


Figura 5.6 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias e sistema de 21 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.23., A.51., A.79., A.107., A.135..

### 5.1.2 Sistema de 134 barras.

No sistema de 134 barras, após a inclusão de geradores distribuídos os desempenhos dos métodos sofreram poucas alterações. De acordo com a Figura 5.7 os métodos de Espanha e Novosel apresentaram os melhores resultados após a introdução dos geradores distribuídos. Com

os dois geradores observa-se que os erros máximos dos métodos de Espanha e Warrington sofrem pequenas reduções. Portanto, para resistência de falta de  $5\Omega$ , os métodos de Espanha e Novosel localizam faltas monofásicas com precisão aceitável mesmo na presença de GD, sendo o método de Espanha mais preciso.

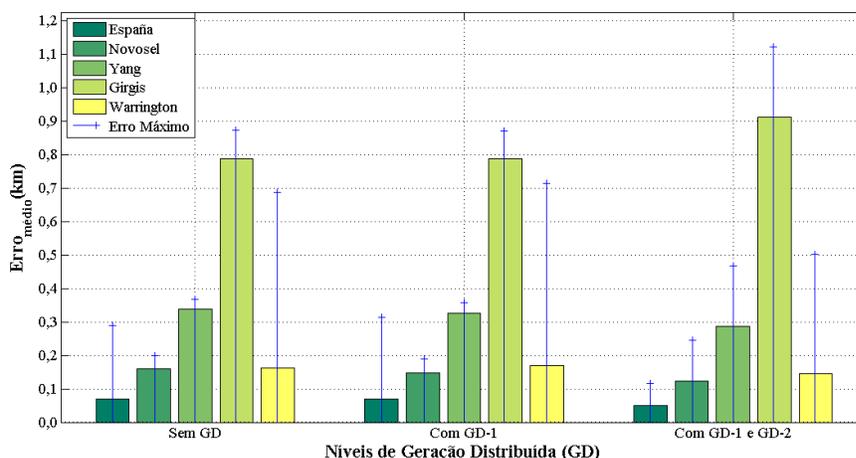


Figura 5.7 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias e sistema de 134 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.18., A.46., A.74., A.102., A.130..

Na Figura 5.8 são apresentados os erros de localização para faltas trifásicas no sistema de 134 barras. Os erros médios se mantêm praticamente iguais após a introdução dos geradores. Os erros máximos para os métodos de Espanha, Yang e Girgis aumentam para aproximadamente 180, 230 e 230 metros, respectivamente, quando no sistema de 134 há penetração de nível elevado de GD. Os erros máximos dos métodos de Novosel e Warrington sofrem pequenas reduções. De modo geral, apenas o método de Novosel apresentou desempenho inadequado neste caso, sendo os métodos de Espanha e Warrington os mais precisos.

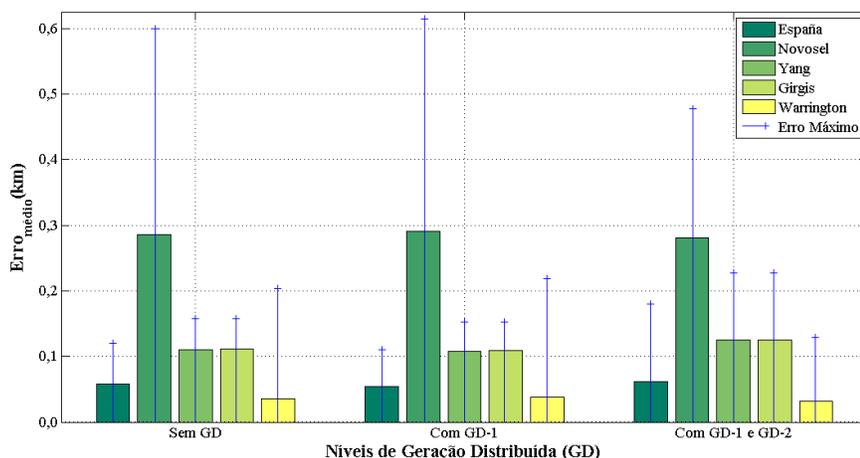


Figura 5.8 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias e sistema de 134 barras nas situações: (a) Sem GD; (b) Com somente GD-1 e (c) Com GD-1 e GD-2 – Dados retirados das tabelas: A.24., A.52., A.80., A.108., A.136..

## 5.2 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DE FALTA NO DESEMPENHO DOS RELÉS E SISTEMAS OPERANDO COM GD.

Nesta seção o desempenho das metodologias de localização de faltas foi verificado com maior nível de geração distribuída (Com GD-1 e GD-2) e variação da resistência de faltas monofásicas e trifásicas. Para as faltas monofásicas foram consideradas resistências de 5, 20, 40 e 60Ω e para as falta trifásica foram consideradas resistências de 1 e 5Ω. Nesta seção os sistemas estão operando em carga nominal.

### 5.2.1 Sistema de 21 barras.

A Figura 5.9 apresenta os erros máximos e médios de localização de faltas monofásicas para o sistema de 21 barras. Observa-se que, mesmo para a resistência de falta de 5Ω, nenhum dos métodos apresenta resultados satisfatórios quando há níveis maiores níveis de geração distribuída na rede. De modo geral, o método de Espanha apresenta melhores resultados, mas os seus erros médios e máximos ainda são inadequados independente do valor da resistência de falta.

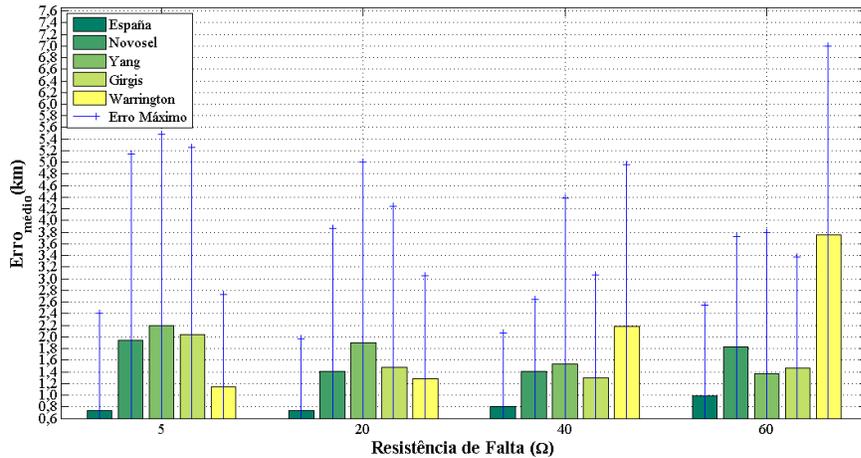


Figura 5.9 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.19., A.47., A.75., A.103., A.131..

A Figura 5.10 apresenta os erros máximos e médios para o caso de faltas trifásicas no sistema de 21 barras na presença dos dois geradores distribuídos. Com o aumento da resistência de falta, os métodos apresentam erros médios levemente menores mais os erros máximos, para as duas resistências, são superiores a 1900 metros, tornando os métodos inadequados. O método de Espanha apresenta os menores erros médios independente do valor da resistência de falta.

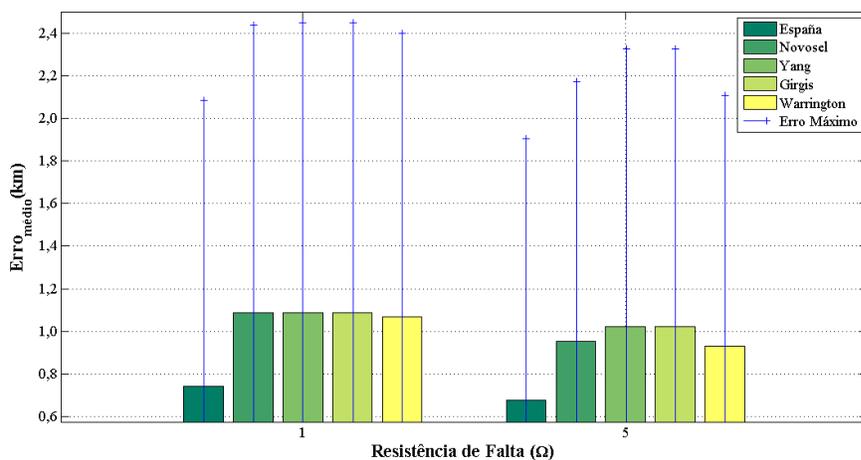


Figura 5.10 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 21 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.25., A.53., A.81., A.109., A.137..

### 5.2.2 Sistema de 134 barras.

A Figura 5.11 apresenta os erros máximos e médios de localização de faltas monofásicas para o sistema de 134 barras. Nela observa-se que o método de Espanha apresenta bons resultados quando a resistência de falta é de até  $20\Omega$ , embora nessa resistência tenha erro máximo elevado. Para  $40\Omega$  os erros médios do método de Espanha são aceitáveis, mas os erros máximos são inadequados. Para  $60\Omega$  os erros médios e máximos do método de Espanha são inadequados. O método de Novosel apresenta resultados aceitáveis apenas para  $5\Omega$ , nos demais casos os erros máximos desqualificam o método. Para  $5\Omega$ , os métodos de Yang e Warrington apresentam baixo erros médios, entretanto seus erros máximos são elevados. Nos demais casos os métodos também apresentam resultados inadequados.

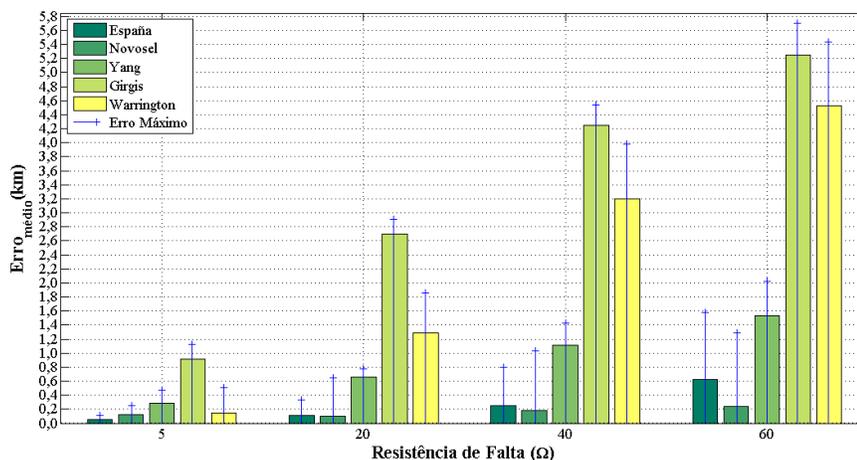


Figura 5.11 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.20., A.48., A.76., A.104., A.132..

A Figura 5.12 apresenta os erros máximos e médios de localização de faltas trifásicas no sistema de 134 barras. Esta figura mostra que os erros médios de localização de faltas trifásicas para os métodos de Espanha, Novosel, Yang, Girgis e Warrington, para resistência de falta de  $1\Omega$ , são de aproximadamente 60, 280, 120, 120, e 40 metros, respectivamente. Quando a resistência sobe para  $5\Omega$ , os erros médios se elevam para aproximadamente 250, 550, 280, 280 e 280 metro. De modo geral, apenas o método de Novosel é inadequado quando a resistência é de  $1\Omega$ , enquanto que para a resistência de  $5\Omega$ , todos os métodos são inadequados.

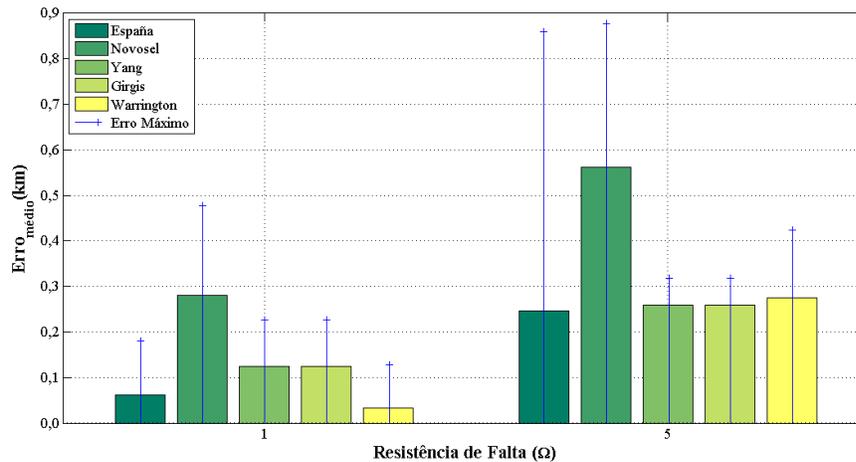


Figura 5.12 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistema de 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta – Dados retirados das tabelas: A.26., A.54., A.82., A.110., A.138..

### 5.3 INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO DOS SISTEMAS NO DESEMPENHO DOS RELÉS, SISTEMAS OPERANDO COM GD.

Nesta seção o carregamento dos sistemas foi elevado a 175% do carregamento nominal e foram aplicadas faltas monofásicas e trifásicas às redes considerando a presença dos geradores distribuídos. Testes com o carregamento em 125% e 150% da carga nominal são mostrados nas tabelas do APÊNDICE A. As resistências de falta utilizadas foram de 5Ω (caso monofásicos) e 1Ω (caso trifásicos).

#### 5.3.1 Sistemas de 21 e 134 barras, faltas monofásicas.

Na Figura 5.13, verifica-se que a variação da carga para 175% não afeta o desempenho dos métodos no sistema de 21 barras, já que os erros máximos e médios são praticamente os mesmos. Neste caso, mesmo para a condição de carga nominal, os métodos não são adequados para localizar faltas monofásicas no sistema de 21 barras.

Para o sistema de 134 barras com GD-1 e GD-2 e resistência de falta de  $5\Omega$ , os métodos de Espanha e Novosel são muito influenciados pela variação do carregamento nominal, mas permanecem com erros aceitáveis. O método de Espanha localiza faltas monofásicas adequadamente no sistema de 134 barras, tanto para a condição de carga nominal, quanto para 175% do carregamento nominal. Apesar de o método de Novosel ter sido pouco influenciado pela variação do carregamento, o seu erro máximo para a maior carga chega a aproximadamente 400 metros. Os métodos de Yang, Girgis e Warrington, quando o sistema de 134 barras opera com carga nominal, tem erros máximos de aproximadamente 500, 1200 e 500 metros. Quando a carga é elevada, esses erros máximos de localização de faltas passam a ser de aproximadamente 700, 1600 e 1000 metros. De modo geral, os erros, mesmo em carga nominal, são elevados e, portanto, esses métodos não apresentaram resultados adequados.

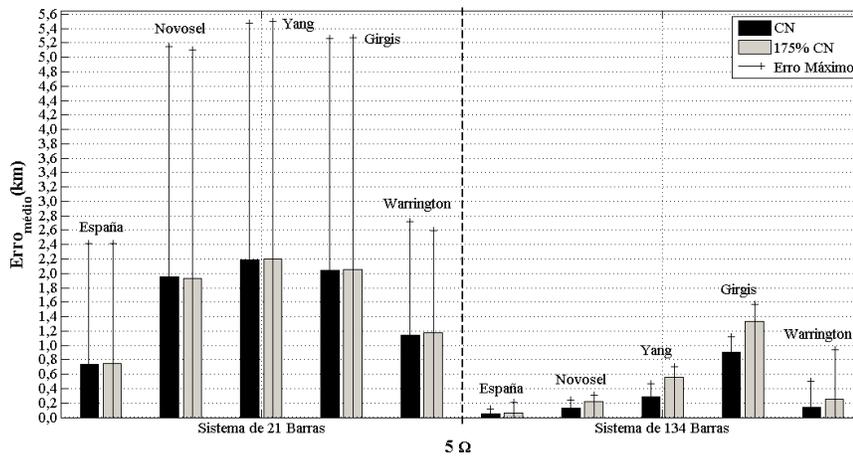


Figura 5.13 – Erros médios e máximos de localização de faltas monofásicas para as cinco metodologias, sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação nos Carregamentos Nominais (CN) – Dados retirados das tabelas: A.21., A.49., A.77., A.105., A.133. e A.22., A.50., A.78., A.106., A.134..

Portanto, para os casos de variação de carregamento, nenhum dos métodos localizam faltas monofásicas no sistema de 21 barras adequadamente, e somente o método de Espanha localiza faltas monofásicas adequadamente no sistema de 134 barras.

### 5.3.2 Sistemas de 21 e 134 barras, faltas trifásicas.

A Figura 5.14 apresenta os resultados para a localização de faltas trifásicas nos sistemas de 21 e 134 barras quando os sistemas operam com carga nominal e com carregamento de 175% da carga nominal. Para nível maior de GD no sistema de 21 barras, a variação da carga, assim como no caso monofásico, não influencia na localização de faltas trifásicas. Para as duas condições de carregamento, os erros máximos de localização são superiores a 2,0 km.

Para o sistema de 134 barras, sistema operando com GD-1 e GD-2 e com carga nominal, os erros máximos para os métodos de España, Novosel, Yang, Girgis e Warrington são de aproximadamente 200, 500, 220, 220 e 170 metros, respectivamente, e quando a carga é elevada estes erros passam a ser de 3200, 2400, 2000, 2000 e 200 metros. Portanto, apenas o método de Warrington não sofre influência significativa da variação da carga. Os métodos de España, Yang, Girgis e Warrington podem ser usados para a localização de faltas trifásicas quando o sistema opera com carga nominal. Quando o sistema opera com 175% da carga nominal, apenas o método de Warrington continua adequado.

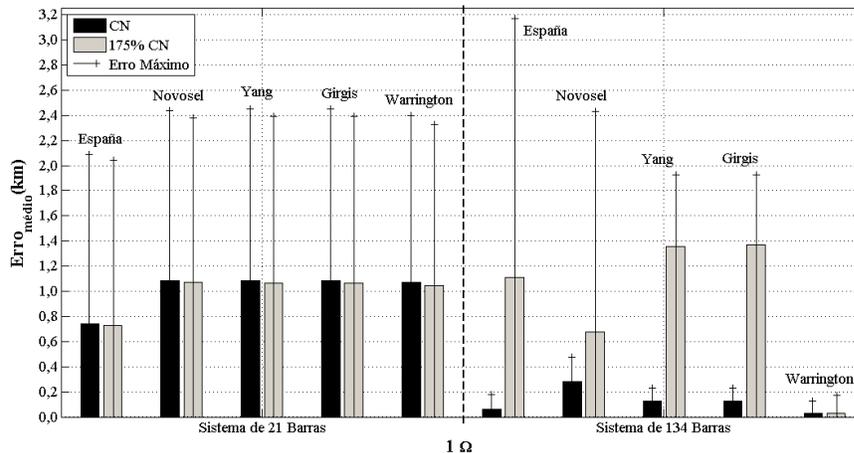


Figura 5.14 – Erros médios e máximos de localização de faltas trifásicas para as cinco metodologias, sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação nos Carregamentos Nominais (CN) – Dados retirados das tabelas: A.27., A.55., A.83., A.111., A.139. e A.28., A.56., A.84., A.112., A.140..

## 5.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS SEÇÕES ANTERIORES

A Tabela 5.3, Tabela 5.4 e Tabela 5.5 resumem os resultados obtidos neste capítulo. Na Tabela 5.3 observa-se que nenhuma das metodologias de localização de faltas podem ser usadas adequadamente para localizar faltas (monofásicas e trifásicas) na rede de distribuição de 21 barras quando há introdução de geradores distribuídos. Além disso, observa-se que no sistema de 134 barras somente os métodos de Novosel e España localizam faltas monofásicas adequadamente na presença de GD. No caso de faltas trifásicas, os métodos de España, Yang, Girgis e Warrington são adequados para serem usados no sistema de 134 barras.

Apesar de os resultados da Tabela 5.3 indicarem que os métodos de Novosel e España são capazes de localizar faltas monofásicas em redes de distribuição com maior penetração de GD, na rede de 134 barras, a Tabela 5.4 mostra que esses dois métodos só funcionam nessas condições para resistências de falta pequenas (até  $5\Omega$ ). Também na Tabela 5.4 observa-se que, na localização das faltas trifásicas, as metodologias classificadas como adequadas no sistema de 134 barras, só funcionam bem para a resistência de  $1\Omega$ . Na Tabela 5.4 observa-se ainda que no sistema de 21 barras nenhuma das metodologias testadas são adequadas para localizar faltas monofásicas ou trifásicas.

A Tabela 5.5, com a variação no carregamento dos sistemas, confirma que no sistema de 21 barras nenhuma das metodologias localizam faltas (monofásicas e trifásicas) com precisão. Também nessa tabela observa-se, para o sistema de 134 barras, que o método de España apresenta bom desempenho em localizar faltas monofásicas e para faltas trifásicas, apenas o método de Warrington é adequado.

Diante do exposto, conclui-se que os métodos de localização de faltas baseados em impedância apresentados (que não levam em conta a geração distribuída em seus algoritmos), não podem ser usados adequadamente para localizar faltas em sistemas de distribuição contendo GD. Existe, portanto, a necessidade de se desenvolver novos métodos ou de se adaptar os métodos avaliados.

Tabela 5.3 – Níveis de geração distribuída (GD) em que os métodos mantêm bom desempenho (denominados como “ok”), com resistência de falta de  $5\Omega$  (faltas monofásicas) e  $1\Omega$  (faltas trifásicas), com carga nominal.

| Sistema | Tipo de Falta | Métodos    | Sem GD | Com GD1 | Com GD-1 e GD-2 |
|---------|---------------|------------|--------|---------|-----------------|
| 21      | Monofásica    | España     | ok     | x       | x               |
|         |               | Novosel    | ok     | x       | x               |
|         |               | Yang       | ok     | x       | x               |
|         |               | Girgis     | ok     | x       | x               |
|         |               | Warrington | x      | x       | x               |
|         | Trifásica     | España     | ok     | ok      | x               |
|         |               | Novosel    | ok     | ok      | x               |
|         |               | Yang       | ok     | ok      | x               |
|         |               | Girgis     | ok     | ok      | x               |
|         |               | Warrington | ok     | ok      | x               |
| 134     | Monofásica    | España     | ok     | ok      | ok              |
|         |               | Novosel    | ok     | ok      | ok              |
|         |               | Yang       | x      | x       | x               |
|         |               | Girgis     | x      | x       | x               |
|         |               | Warrington | x      | x       | x               |
|         | Trifásica     | España     | ok     | ok      | ok              |
|         |               | Novosel    | x      | x       | x               |
|         |               | Yang       | ok     | ok      | ok              |
|         |               | Girgis     | ok     | ok      | ok              |
|         |               | Warrington | ok     | ok      | ok              |

x → Método não indicado para nenhum nível de GD

Tabela 5.4 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos mantêm bom desempenho (denominados como “ok”), para os sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2.

| Sistema    | Tipo de Falta | Métodos    | Com GD-1 e GD-2 |            |            |            |
|------------|---------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
|            |               |            | $5\Omega$       | $20\Omega$ | $40\Omega$ | $60\Omega$ |
| 21         | Monofásica    | $R_f$      | $5\Omega$       | $20\Omega$ | $40\Omega$ | $60\Omega$ |
|            |               | España     | x               | x          | x          | x          |
|            |               | Novosel    | x               | x          | x          | x          |
|            |               | Yang       | x               | x          | x          | x          |
|            |               | Girgis     | x               | x          | x          | x          |
|            |               | Warrington | x               | x          | x          | x          |
|            | Trifásica     | $R_f$      | $1\Omega$       | $5\Omega$  |            |            |
|            |               | España     | x               |            |            |            |
|            |               | Novosel    | x               |            |            |            |
|            |               | Yang       | x               |            |            |            |
| Girgis     |               | x          |                 |            |            |            |
| Warrington | x             |            |                 |            |            |            |
| 134        | Monofásica    | $R_f$      | $5\Omega$       | $20\Omega$ | $40\Omega$ | $60\Omega$ |
|            |               | España     | ok              | x          | x          | x          |
|            |               | Novosel    | ok              | x          | x          | x          |
|            |               | Yang       | x               | x          | x          | x          |
|            |               | Girgis     | x               | x          | x          | x          |
|            |               | Warrington | x               | x          | x          | x          |
|            | Trifásica     | $R_f$      | $1\Omega$       | $5\Omega$  |            |            |
|            |               | España     | ok              |            |            |            |
|            |               | Novosel    | x               |            |            |            |
|            |               | Yang       | ok              |            |            |            |
| Girgis     |               | ok         |                 |            |            |            |
| Warrington | ok            |            |                 |            |            |            |

Tabela 5.5 – Valores de resistência de falta ( $R_f$ ) em que os métodos apresentam bom desempenho (denominados como “ok”), para os sistemas de 21 e 134 barras operando com GD-1 e GD-2 e variação no carregamento para 175%.

| Sistema | Tipo de Falta | Métodos    | Com GD-1 e GD-2 |
|---------|---------------|------------|-----------------|
| 21      | Monofásica    | $R_f$      | 5 $\Omega$      |
|         |               | España     | x               |
|         |               | Novosel    | x               |
|         |               | Yang       | x               |
|         |               | Girgis     | x               |
|         |               | Warrington | x               |
|         | Trifásica     | $R_f$      | 1 $\Omega$      |
|         |               | España     | x               |
|         |               | Novosel    | x               |
|         |               | Yang       | x               |
|         |               | Girgis     | x               |
|         |               | Warrington | x               |
| 134     | Monofásica    | $R_f$      | 5 $\Omega$      |
|         |               | España     | ok              |
|         |               | Novosel    | x               |
|         |               | Yang       | x               |
|         |               | Girgis     | x               |
|         |               | Warrington | x               |
|         | Trifásica     | $R_f$      | 1 $\Omega$      |
|         |               | España     | x               |
|         |               | Novosel    | x               |
|         |               | Yang       | x               |
|         |               | Girgis     | x               |
|         |               | Warrington | ok              |

Neste capítulo constatou-se que a GD influencia menos a localização de faltas no sistema de 134 barras, tanto para a localização de faltas monofásicas como trifásicas. Comparando a Figura 5.5 e Figura 5.7, observa-se que com maior penetração de GD, os erros das metodologias são maiores no sistema de 21 barras. Com a introdução de GD os métodos têm seus desempenhos comprometidos uma vez que não consideram em seus algoritmos nenhuma informação relativa aos geradores distribuídos, porém o desempenho é mais comprometido quando há penetração de GD no sistema de 21 barras. Para explicar este comportamento considere a Figura 5.15. Se a corrente ( $I_{GD}$ ) do gerador distribuído é drenada pelas cargas posicionadas entre a subestação e a falta, então, a corrente da subestação se aproxima da corrente de falta e, portanto, a suposição de que a corrente medida na subestação é igual a corrente de carga é uma boa aproximação. Este comportamento é observado apenas na rede de 134 barras. Para resolver esse problema, os métodos que incluem GD em seus algoritmos consideram dois equacionamentos para determinar a localização da falta, um com o circuito a montante do gerador distribuído e outro com o circuito a jusante.

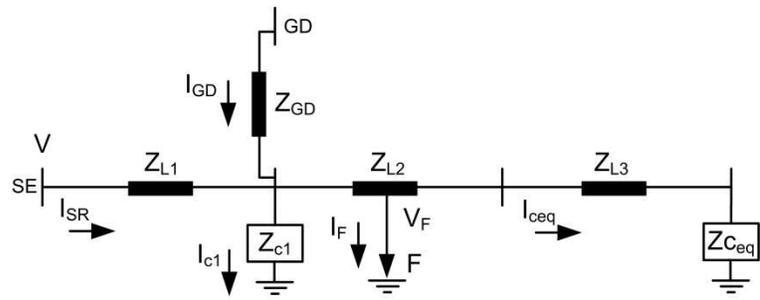


Figura 5.15 – Sistema exemplo de 3 barras.



## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSÃO**

Esta dissertação apresenta uma análise de algoritmos de localização de faltas baseados em impedância. De acordo com a literatura, os algoritmos de localização automática de defeitos estudados são apresentados como mecanismos precisos para a localização de faltas. Tais afirmações foram obtidas a partir de testes simples, realizados em redes com poucas ramificações e baixo carregamento dos sistemas, sendo o sistema de 21 barras o mais utilizado. Além disso, as metodologias foram testadas somente para faltas monofásicas e para redes sem GD. Nesta dissertação elevou-se o número de testes e as metodologias de localização de faltas foram analisadas em situações mais realistas.

No primeiro teste, realizado no Capítulo 4, o desempenho dos algoritmos foram avaliados para a rede de 134 barras do IEEE. Das diversas análises apresentadas nesse capítulo, constatou-se o contrário do que a literatura indica. Nenhum dos métodos avaliados se mostrou completamente robusto e adequado para a solução do problema de localização de faltas. Entre os métodos analisados, o método de Espanha se mostrou ligeiramente superior aos demais, e assim, acredita-se que este método possa ser usado como parte de uma metodologia de localização de falta.

No segundo teste realizado, Capítulo 5, foi incluída geração distribuída nas redes de 21 e 134 barras. As metodologias analisadas neste texto não foram desenvolvidas para redes com penetração de GD. Os testes realizados para as redes com GD serviram para verificar se os métodos, mesmo não desenvolvidos para redes com fluxos em várias direções, localizavam faltas. Conclui-se que os métodos de localização de faltas baseados em impedância apresentados (que não levam em conta a geração distribuída em seus algoritmos), não podem ser usados para localizar faltas em sistemas de distribuição com penetração de GD. Existe a necessidade de se desenvolver novos métodos e testar também os já existentes que utilizam em seus algoritmos os dados dos geradores distribuídos ao longo das redes. Em um futuro próximo, maior número de dados serão obtidos ao devido monitoramento dos sistemas de potência.

Nesta dissertação verificou-se que os desempenhos dos métodos de localização automática de faltas dependem dos sistemas de distribuição em que estão sendo testados, portanto, recomenda-se, antes da escolha de um método para aplicação, que testes sejam realizados levando em consideração as características reais de cada rede.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentado nesta dissertação não encerra o tema tratado, e, portanto, são sugeridos os seguintes aspectos que ainda devem ser estudados:

- Estudar o problema da múltipla estimação de falta, apresentada na Seção 2.5, desenvolvendo um mecanismo de seleção da barra final ou do ramal principal adotado na simplificação da rede, requerida por todos os relés;
- Adaptar as metodologias estudadas para considerar a presença de geradores distribuídos;
- Modificar as metodologias testadas para considerar mais informações e medições, além das medições obtidas na subestação;
- Testar as metodologias estudadas utilizando o Real Time Digital Simulator (RTDS).

## 6.2 PUBLICAÇÕES RESULTANTES DESTE TRABALHO

Durante a realização deste trabalho de pesquisa foram realizadas as seguintes publicações/aceite/submissão (ordem cronológica):

- Analysis of Distance Based Fault Location Methods for Smart Grids with Distributed Generation. Bernardo Dias São José, Paulo Anderson Holanda Cavalcante, Fernanda C. L. Trindade e Madson Cortes de Almeida. The 4th European Innovative Smart Grid Technologies (IEEE ISGT Europe 2013), 2013. Copenhagen - Dinamarca. Trabalho publicado.

- Múltiplas Estimativas em Métodos de Localização de Faltas em Redes de Distribuição. Paulo Anderson Holanda Cavalcante, Bernardo Dias São José, Fabiano Schmidt e Madson Cortes de Almeida. V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétrico – SBSE 2014. Foz do Iguaçu – PR. Trabalho completo submetido.

Outros trabalhos em temas correlatos ao tema dessa dissertação:

- A Transmission Line Two-end Fault Location Approach based on Mathematical Morphology. Paulo Anderson Holanda Cavalcante, Bernardo Dias São José, Fernanda C. L. Trindade e Madson Cortes de Almeida. IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2013. Vancouver CA. Trabalho publicado.
- Análise do comportamento transitório na energização de transformadores de potência trifásicos em um sistema de transmissão de energia elétrica de 500 kV. Bernardo Dias São José, Paulo Anderson Holanda Cavalcante e Maria Cristina Dias Tavares. XIII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica – XIII SEPOPE 2014. Foz do Iguaçu – PR. Resumo aceito.



## REFERÊNCIAS

- [1] Das R., Determining the locations of fault in distribution systems. 1998. 206p. Doctoral thesis. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 1998.
- [2] Distribution test Feeders – IEEE PES Distribution System Analysis Subcommittee [Online]. 2011. Disponível em: <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html>
- [3] Dib Tleis, N. (2008). Power Systems modeling and Fault Analysis, theory and practice. First ed. Elsevier, 2008. 625 p.
- [4] Mora-Flórez, J.; Meléndez, J.; Carrillo-Caicedo, G., Comparison of impedance based fault location methods for power distribution systems. Electric Power Systems Research. vol.78, pp. 657-666. April 2008.
- [5] Warrington, A. (1968). Protective relays, their theory and practice. 2nd ed. Chapman and Hall, 1974. V2.
- [6] IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines. Power System Relaying Committee. 2004.
- [7] Takagi, T.; Yanakoshi, Y.; Yamaura, M.; Kondow, R. and Matsushima, T., Development of a new type fault locator using the one terminal voltage and current data. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-101, No. 8. August 1982.
- [8] Pereira A. F., R., Localização de Falhas em Alimentadores de Distribuição de Energia Elétrica Usando Medições Esparsas de Tensões. 2007. 66 f. Tese de Doutorado - FEIS/UNESP, Ilha Solteira - SP. 2007.
- [9] Morales-España, G.; Mora-Flórez, J.; Vargas-Torres, H., Fault location method based on the determination of the minimum fault reactance for uncertainty loaded and unbalanced power distribution systems, 2010 IEEE/PES T&D-LA, pp.803-809, 8-10 Nov. 2010.
- [10] Novosel, D.; Hart, D.; Myllymaki, J., System for locating faults and estimating fault resistance in distribution networks with tapped loads, US Patent number 5,839,093 (1998).
- [11] Yang, L.; Springs, C., One terminal fault location system that corrects for fault resistance effects, US Patent number 5,773,980 (1998).

- [12] Girgis, A.A.; Fallon, C.M.; Lubkeman, D.L., A fault location technique for rural distribution feeders, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol.29, no.6, pp.1170-1175, Nov/Dec 1993.
- [13] Srinivasan, K.; St.-Jacques, A., A new fault location algorithm for radial transmission lines with loads. *IEEE Transactions on Power Delivery*. vol.4, no.3, pp.1676-1682. Jul 1989.
- [14] Jun, Z.; Lubkeman, D.; Girgis, A., Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders. *IEEE Transactions on Power Delivery*. vol.12, no.2, pp.801-809. Apr 1997.
- [15] Aggarwal, R.K.; Aslan, Y.; Johns, A.T., New concept in fault location for overhead distribution systems using superimposed components. *IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*. vol.144, no.3, pp.309-316. May 1997.
- [16] Das, R.; Sachdev, M.S.; Sidhu, T.S., A fault locator for radial subtransmission and distribution lines. *PES Summer Meeting, 2000. IEEE* , vol.1, no., pp.443-448 vol. 1, 2000.
- [17] Saha M.; Rosolowski., Method and device of fault location for distribution networks. US Patent number 6,483,435 (2002).
- [18] Myeon S.C.; Seung J.L.; Duck S.L.; Bo G.J., A new fault location algorithm using direct circuit analysis for distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.19, no.1, pp. 35- 41, Jan. 2004.
- [19] Gonzaga da Silveira, E., *Localização de faltas em linhas de transmissão: desenvolvimento de novos algoritmos e implementação de sistema computacional para aplicações práticas*. 2007. 97 f. Tese de Doutorado - UFMG, Belo Horizonte - MG. 2007.
- [20] Oppenheim, A. V.; Schafer, R. W. (1937). *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall, 1987. 1108p.
- [21] Edmund, O.S., *New Developments in Distance Relay Polarization and Fault Type Selection*. 16 TH Annual Western Protective Relay Conference. 20p. Spokane, Washington. October, 1989.
- [22] Edmund, O.S.; Roberts, J., *Distance relay element design*. 28p. Forty-Sixth Annual Conference for Protective Relay Engineers. College Station, Texas. April, 1993.
- [23] Anderson, P. (1973). *Analysis of Faulted Power Systems*. The Iowa State University Press. 1973. 531p.

- [24] Stevenson, W. D. (1975). Elements of power system analysis. 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill, 1975, 423p.
- [25] Mauricio M. M., L., Alguns Fatores afetando o desempenho de relés de distância. 2006. 85 f. Dissertação de Mestrado - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ. 2006.
- [26] Warrington, A. (1968). Protective relays, their theory and practice. 2nd ed. Chapman and Hall, 1971. VI.
- [27] Gilkeson C. L.; Jeanne P. A.; Davenport, Jr. J. C., Power System Faults to Ground Part I: Characteristics. Electrical Engineering, Volume 56. April 1937, pages 421-8.
- [28] Roberts, J.; Guzman, A., Edmund, O.S.  $Z = V/I$  não faz um relé de distância. 20 TH Annual Western Protective Relay Conference. 20p. Spokane, Washington. October, 1993.
- [29] Bernardo, D.S.J.; Cavalcante P. A. H.; Trindade, F. C. L. and De Almeida M. C., Analysis of Distance Based Fault Location Methods for Smart Grids with Distributed Generation. IEEE PES ISGT Europe 2013. 5p. Oct 2013.
- [30] Klusmeyer, T.R., Elimination of Faulted Circuit Indicator Coordination Concerns. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. Los Angeles, California. September 15 - 20, 1996.
- [31] Mora-Flórez, J.; Morales-España, G.; Pérez-Londoño S., Learning-based strategy for reducing the multiple estimation problem of fault zone location in radial power systems. IET Generation, Transmission & Distribution, vol 3, pp. 346-356, 2009.
- [32] Van L, A. Overhead & Underground SCADA: Radio Faulted Circuit Indicators and Applications. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference. Los Angeles, California. September 15 - 20, 1996.
- [33] Product Guide Protection and Control. Thomas e Betts Corporation. 2003.
- [34] Current Reset Fault Indicators. Fault indicator and sensor division. 2009. SEL.
- [35] Fault Indicators and Sensors. Fault indicator and sensor division. 2009. SEL.
- [36] Dommel H.W.; EMTP Theory Book. Second ed. Microtran Power System Analysis Corporation, Vancouver, BC, 1992.
- [37] Mathworks Matlab. Natick, MA, 2010. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/>
- [38] Gilkeson C. L.; Jeanne P. A.; Vaage E. F., Power System Faults to Ground Part II: Fault Resistance. Electrical Engineering, Volume 56. April 1937, pages 428-34.

- [39] Blackburn, J. L. (1987). Protective Relaying: Principles and Applications. New York; base Marcel Dekker. 545p. 1987.
- [40] Pereira I. H., Localização Automática de Faltas em Linhas de Transmissão com Informações dos dois Terminais. 2004. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.
- [41] Anderson, C. C., Metodologia de Análise da Proteção de distância para testes em um relé digital. 2007. 145p. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Paulo – EESC, São Carlos, 2007.
- [42] Nunes, J. U. N.; Bretas, A. S., A Impedance-Based Fault Location Technique for Unbalanced Distributed Generation Systems. 2011 IEEE Trondheim PowerTech. 2011. 7p. Amsterdam – Trondheim. June 2011.
- [43] Wang, L.; Hyun, S.H., A New Fault Location Method for Distribution System under Smart Grid Environment. 2011 The 6th International Forum on Strategic Technology. 2011. 4p. Harbin, Heilongjiang, China. August 22-24, 2011.
- [44] Zheng T.; Jia H., Application of Multi-Agent and Impedance-Based Algorithm for Fault Location in Power Distribution Systems with DG. 2011The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection. 6p. Beijing, China. Oct 2011.
- [45] Bedoya-Cadena A.; Orozco-Henao C.; Mora-Flórez J., Single Phase to Ground Fault Locator for Distribution Systems with Distributed Generation. IEEE PES T&D LA 2012. 7p. Montevideo, Uruguay. September 2012.
- [46] Orozco-Henao C.; Mora-Flórez J.; Pérez-Londoño S., A robust method for single phase fault location considering distributed generation and current compensation. IEEE PES T&D LA 2012. 7p. Montevideo, Uruguay. September 2012.
- [47] Nunes, J. U. N.; Bretas, A. S., Impedance-Based Fault Location Formulation for Unbalanced Primary Distribution Systems with Distributed Generation. 2010 International Conference on Power System Technology (POWERCON). 2010. 7p.Oct 2010.
- [48] Kundur, P. (1994). Power Systems Stability and Control, New York: MacGrawHill, 1994.

## **ANEXOS**



## ANEXO A – DESCRIÇÃO DAS REDES DE TESTE

As topologias dos sistemas de 21 e 134 barras são apresentadas na Figura An.1 e Figura An.2, respectivamente.

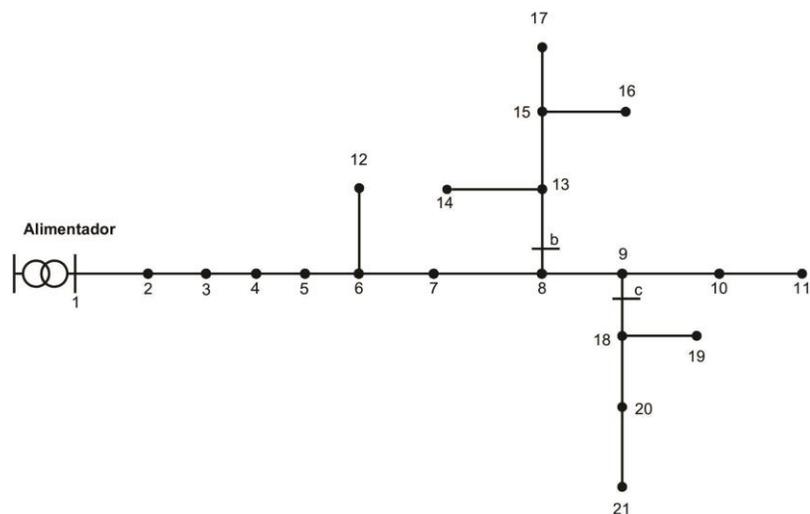


Figura An.1 – Diagrama unifilar do sistema de 21 barras, 25 kV ([1]).

O sistema de 21 barras contém dois ramais laterais monofásicos e os demais ramos do são trifásicos. O sistema é desbalanceado e não homogêneo. O sistema de 21 barras tem ramos mais longos, sendo o menor de 2,414 km e o maior de 5,15 km. A barra mais distante da subestação no sistema de 21 barras está a aproximadamente 37 km (somados os comprimentos dos cabos que conectam a subestação a barra). As distâncias das barras até subestação são apresentadas na tabela abaixo. Estas distâncias foram calculadas somando os comprimentos dos cabos.

Distância das barras com falta à subestação, sistema de 21 barras.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) |
|-----------------------|-------------------------|
| 2                     | 2,414                   |
| 6                     | 18,506                  |
| 7                     | 22,529                  |
| 8                     | 27,679                  |
| 9                     | 30,093                  |
| 10                    | 34,599                  |
| 11                    | 37,013                  |
| 13                    | 30,093                  |
| 14                    | 32,507                  |
| 17                    | 34,921                  |

O sistema de 134 barras é balanceado e apresenta somente ramos trifásicos. A barra 118, a mais distante da subestação, está a aproximadamente 4,27 km (somados os comprimentos dos cabos que conectam a subestação a barra 118). Este sistema apresenta ramos muito curtos, sendo o menor ramo de 10 metros. Porém, seu carregamento é maior que o da rede de 21 barras. Além disso, o sistema têm 35 extremidades (barras terminais) e, portanto, possui um elevado número de ramais laterais. As distâncias das barras onde serão aplicadas faltas até a subestação são apresentadas na tabela a seguir. Estas distâncias foram calculadas somando os comprimentos dos cabos.

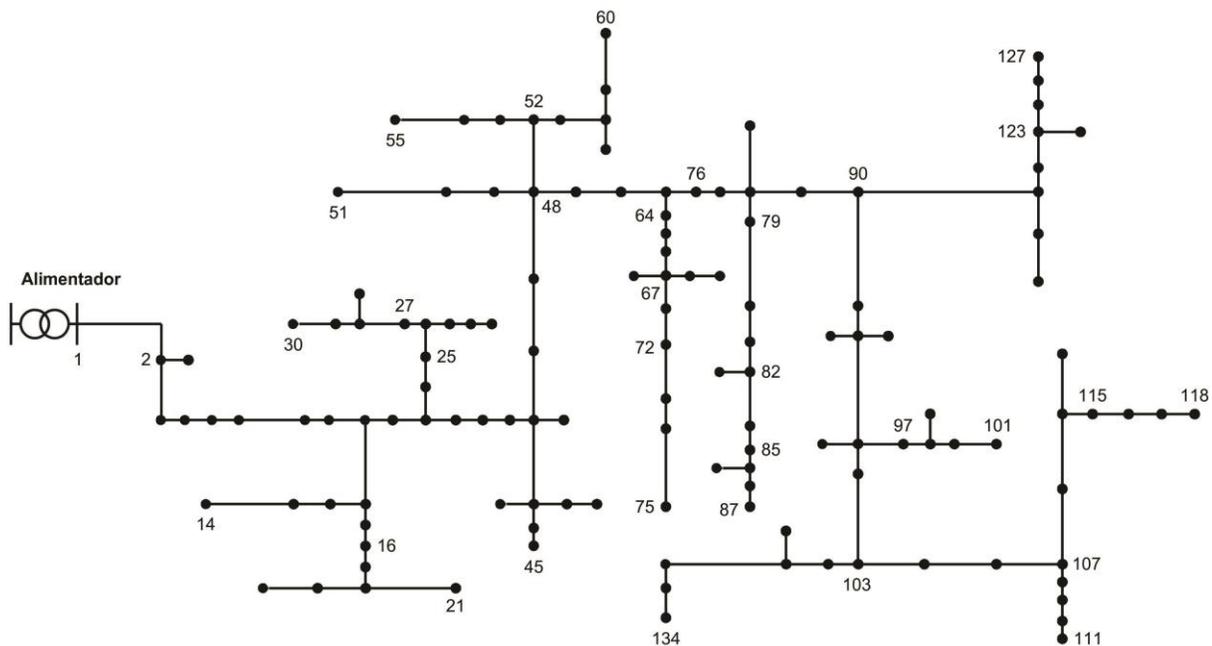


Figura An.2 – Diagrama unifilar do sistema de 134 barras, 13,8 kV ([2]).

Distância das barras com falta à subestação, sistema de 134 barras.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Barra com Falta | Distância da Falta (km) |
|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| 2               | 0,9                     | 51              | 2,34                    | 76              | 2,22                    | 103             | 2,8                     |
| 14              | 2,05                    | 52              | 2,2                     | 79              | 2,37                    | 107             | 3,19                    |
| 16              | 1,84                    | 55              | 2,42                    | 82              | 2,5                     | 111             | 3,44                    |
| 21              | 2,05                    | 60              | 2,38                    | 85              | 2,58                    | 115             | 3,67                    |
| 25              | 1,87                    | 64              | 2,23                    | 87              | 2,65                    | 118             | 4,27                    |
| 27              | 1,96                    | 67              | 2,3                     | 90              | 2,4                     | 123             | 2,71                    |
| 30              | 2,14                    | 72              | 2,39                    | 97              | 2,75                    | 127             | 2,81                    |
| 45              | 2,07                    | 75              | 2,56                    | 101             | 2,96                    | 134             | 3,08                    |

Os dados de impedâncias dos ramos, transformadores, subestações e cargas, dos sistemas de 21 e 134 barras, são apresentadas nas referências [1] e [2]. As cargas foram modeladas no ATP como impedâncias constantes.



## **APÊNDICE**



## **APÊNDICE A – RESULTADOS**



## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE ESPAÑA

Tabela A.01 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,464   | 0,050     | 2,594            | 0,180     | 2,764            | 0,350     | 2,934            | 0,520     |
| 6               | 18,506                  | 18,636  | 0,130     | 18,856           | 0,350     | 19,136           | 0,630     | 19,416           | 0,910     |
| 7               | 22,529                  | 22,679  | 0,150     | 22,909           | 0,380     | 23,189           | 0,660     | 23,469           | 0,940     |
| 8               | 27,679                  | 27,859  | 0,180     | 28,079           | 0,400     | 28,359           | 0,680     | 28,639           | 0,960     |
| 9               | 30,093                  | 30,273  | 0,180     | 30,473           | 0,380     | 30,733           | 0,640     | 30,983           | 0,890     |
| 10              | 34,599                  | 34,759  | 0,160     | 34,929           | 0,330     | 35,149           | 0,550     | 35,369           | 0,770     |
| 11              | 37,013                  | 37,009  | 0,004     | 37,009           | 0,004     | 37,009           | 0,004     | 37,009           | 0,004     |
| 13              | 30,093                  | 30,093  | 0,000     | 30,253           | 0,160     | 30,473           | 0,380     | 30,693           | 0,600     |
| 14              | 32,507                  | 32,223  | 0,284     | 32,353           | 0,154     | 32,503           | 0,004     | 32,503           | 0,004     |
| 17              | 34,921                  | 34,267  | 0,654     | 34,377           | 0,544     | 34,517           | 0,404     | 34,667           | 0,254     |

Tabela A.02 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,061   | 0,161     | 1,206            | 0,306     | 0,900            | 0,000     | 0,060            | 0,840     |
| 14              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050            | 0,000     | 1,650            | 0,400     | 1,650            | 0,400     |
| 16              | 1,84                    | 1,990   | 0,150     | 2,050            | 0,210     | 1,650            | 0,190     | 1,650            | 0,190     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050            | 0,000     | 1,650            | 0,400     | 1,650            | 0,400     |
| 25              | 1,87                    | 2,022   | 0,152     | 2,140            | 0,270     | 1,800            | 0,070     | 1,650            | 0,220     |
| 27              | 1,96                    | 2,101   | 0,141     | 2,140            | 0,180     | 1,800            | 0,160     | 1,650            | 0,310     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140            | 0,000     | 1,800            | 0,340     | 1,650            | 0,490     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070            | 0,000     | 2,070            | 0,000     | 1,900            | 0,170     |
| 48              | 2,10                    | 2,198   | 0,098     | 2,567            | 0,467     | 2,473            | 0,373     | 1,445            | 0,655     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340            | 0,000     | 2,170            | 0,170     | 1,900            | 0,440     |
| 52              | 2,20                    | 2,323   | 0,123     | 2,420            | 0,220     | 2,200            | 0,000     | 1,900            | 0,300     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420            | 0,000     | 2,200            | 0,220     | 1,900            | 0,520     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380            | 0,000     | 2,200            | 0,180     | 1,900            | 0,480     |
| 64              | 2,23                    | 2,346   | 0,116     | 2,560            | 0,330     | 2,150            | 0,080     | 2,150            | 0,080     |
| 67              | 2,30                    | 2,406   | 0,106     | 2,560            | 0,260     | 2,150            | 0,150     | 2,150            | 0,150     |
| 72              | 2,39                    | 2,486   | 0,096     | 2,560            | 0,170     | 2,150            | 0,240     | 2,150            | 0,240     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560            | 0,000     | 2,150            | 0,410     | 2,140            | 0,420     |
| 76              | 2,22                    | 2,306   | 0,086     | 2,666            | 0,446     | 2,934            | 0,714     | 2,804            | 0,584     |
| 79              | 2,37                    | 2,474   | 0,104     | 2,650            | 0,280     | 2,650            | 0,280     | 2,150            | 0,220     |
| 82              | 2,50                    | 2,586   | 0,086     | 2,650            | 0,150     | 2,650            | 0,150     | 2,150            | 0,350     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650            | 0,070     | 2,650            | 0,070     | 2,150            | 0,430     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650            | 0,000     | 2,650            | 0,000     | 2,150            | 0,500     |
| 90              | 2,40                    | 2,471   | 0,071     | 2,902            | 0,502     | 3,157            | 0,757     | 3,144            | 0,744     |
| 97              | 2,75                    | 2,793   | 0,043     | 2,960            | 0,210     | 2,600            | 0,150     | 2,150            | 0,600     |
| 101             | 2,96                    | 2,881   | 0,079     | 2,960            | 0,000     | 2,600            | 0,360     | 2,150            | 0,810     |
| 103             | 2,80                    | 2,816   | 0,016     | 3,190            | 0,390     | 3,265            | 0,465     | 2,140            | 0,660     |
| 107             | 3,19                    | 3,142   | 0,048     | 3,698            | 0,508     | 4,270            | 1,080     | 3,190            | 0,000     |
| 111             | 3,44                    | 3,365   | 0,075     | 3,440            | 0,000     | 3,290            | 0,150     | 2,580            | 0,860     |
| 115             | 3,67                    | 3,540   | 0,130     | 4,001            | 0,331     | 4,270            | 0,600     | 3,360            | 0,310     |
| 118             | 4,27                    | 3,980   | 0,290     | 4,270            | 0,000     | 4,270            | 0,000     | 3,360            | 0,910     |
| 123             | 2,71                    | 2,758   | 0,048     | 2,810            | 0,100     | 2,400            | 0,310     | 2,150            | 0,560     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810            | 0,000     | 2,400            | 0,410     | 2,150            | 0,660     |
| 134             | 3,08                    | 3,072   | 0,008     | 3,080            | 0,000     | 2,800            | 0,280     | 2,150            | 0,930     |

Tabela A.03 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de España para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |           |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50 % CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,464   | 0,050     | 2,474    | 0,060     | 2,484     | 0,070     | 2,494    | 0,080     |
| 6               | 18,506                  | 18,636  | 0,130     | 18,656   | 0,150     | 18,676    | 0,170     | 18,696   | 0,190     |
| 7               | 22,529                  | 22,679  | 0,150     | 22,709   | 0,180     | 22,729    | 0,200     | 22,749   | 0,220     |
| 8               | 27,679                  | 27,859  | 0,180     | 27,879   | 0,200     | 27,899    | 0,220     | 27,919   | 0,240     |
| 9               | 30,093                  | 30,273  | 0,180     | 30,293   | 0,200     | 30,313    | 0,220     | 30,333   | 0,240     |
| 10              | 34,599                  | 34,759  | 0,160     | 34,769   | 0,170     | 34,779    | 0,180     | 34,789   | 0,190     |
| 11              | 37,013                  | 37,009  | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009    | 0,004     | 37,009   | 0,004     |
| 13              | 30,093                  | 30,093  | 0,000     | 30,069   | 0,024     | 30,089    | 0,004     | 30,079   | 0,014     |
| 14              | 32,507                  | 32,223  | 0,284     | 32,143   | 0,364     | 32,173    | 0,334     | 32,153   | 0,354     |
| 17              | 34,921                  | 34,267  | 0,654     | 34,127   | 0,794     | 34,187    | 0,734     | 34,147   | 0,774     |

Tabela A.04 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de España para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,061   | 0,161     | 1,066    | 0,166     | 1,061    | 0,161     | 1,027    | 0,127     |
| 14              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 16              | 1,84                    | 1,990   | 0,150     | 2,007    | 0,167     | 2,020    | 0,180     | 2,031    | 0,191     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 2,022   | 0,152     | 2,040    | 0,170     | 2,053    | 0,183     | 2,066    | 0,196     |
| 27              | 1,96                    | 2,101   | 0,141     | 2,117    | 0,157     | 2,129    | 0,169     | 2,140    | 0,180     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,198   | 0,098     | 2,191    | 0,091     | 2,174    | 0,074     | 2,128    | 0,028     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,323   | 0,123     | 2,338    | 0,138     | 2,349    | 0,149     | 2,363    | 0,163     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,346   | 0,116     | 2,356    | 0,126     | 2,362    | 0,132     | 2,366    | 0,136     |
| 67              | 2,30                    | 2,406   | 0,106     | 2,415    | 0,115     | 2,420    | 0,120     | 2,423    | 0,123     |
| 72              | 2,39                    | 2,486   | 0,096     | 2,495    | 0,105     | 2,500    | 0,110     | 2,506    | 0,116     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,306   | 0,086     | 2,297    | 0,077     | 2,279    | 0,059     | 2,231    | 0,011     |
| 79              | 2,37                    | 2,474   | 0,104     | 2,482    | 0,112     | 2,486    | 0,116     | 2,487    | 0,117     |
| 82              | 2,50                    | 2,586   | 0,086     | 2,592    | 0,092     | 2,594    | 0,094     | 2,595    | 0,095     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,471   | 0,071     | 2,462    | 0,062     | 2,445    | 0,045     | 2,386    | 0,014     |
| 97              | 2,75                    | 2,793   | 0,043     | 2,794    | 0,044     | 2,817    | 0,067     | 2,820    | 0,070     |
| 101             | 2,96                    | 2,881   | 0,079     | 2,877    | 0,083     | 2,872    | 0,088     | 2,871    | 0,089     |
| 103             | 2,80                    | 2,816   | 0,016     | 2,801    | 0,001     | 2,765    | 0,035     | 2,718    | 0,082     |
| 107             | 3,19                    | 3,142   | 0,048     | 3,120    | 0,070     | 3,094    | 0,096     | 3,056    | 0,134     |
| 111             | 3,44                    | 3,365   | 0,075     | 3,348    | 0,092     | 3,333    | 0,107     | 3,320    | 0,120     |
| 115             | 3,67                    | 3,540   | 0,130     | 3,511    | 0,159     | 3,485    | 0,185     | 3,414    | 0,256     |
| 118             | 4,27                    | 3,980   | 0,290     | 3,930    | 0,340     | 3,887    | 0,383     | 3,843    | 0,427     |
| 123             | 2,71                    | 2,758   | 0,048     | 2,758    | 0,048     | 2,757    | 0,047     | 2,754    | 0,044     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,072   | 0,008     | 3,063    | 0,017     | 3,054    | 0,026     | 3,046    | 0,034     |

Tabela A.05 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,594  | 0,180     | 2,644    | 0,230     | 2,674    | 0,260     | 2,714    | 0,300     |
| 6               | 18,506                  | 18,856   | 0,350     | 18,936   | 0,430     | 18,986   | 0,480     | 19,056   | 0,550     |
| 7               | 22,529                  | 22,909   | 0,380     | 22,989   | 0,460     | 23,049   | 0,520     | 23,109   | 0,580     |
| 8               | 27,679                  | 28,079   | 0,400     | 28,159   | 0,480     | 28,219   | 0,540     | 28,289   | 0,610     |
| 9               | 30,093                  | 30,473   | 0,380     | 30,543   | 0,450     | 30,603   | 0,510     | 30,663   | 0,570     |
| 10              | 34,599                  | 34,929   | 0,330     | 34,989   | 0,390     | 35,029   | 0,430     | 35,069   | 0,470     |
| 11              | 37,013                  | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     |
| 13              | 30,093                  | 30,253   | 0,160     | 30,273   | 0,180     | 30,333   | 0,240     | 30,363   | 0,270     |
| 14              | 32,507                  | 32,353   | 0,154     | 32,313   | 0,194     | 32,383   | 0,124     | 32,393   | 0,114     |
| 17              | 34,921                  | 34,377   | 0,544     | 34,277   | 0,644     | 34,377   | 0,544     | 34,377   | 0,544     |

Tabela A.06 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,206  | 0,306     | 1,084    | 0,184     | 0,902    | 0,002     | 0,816    | 0,084     |
| 14              | 2,05                    | 2,050  | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 1,700    | 0,350     | 1,650    | 0,400     |
| 16              | 1,84                    | 2,050  | 0,210     | 2,050    | 0,210     | 2,050    | 0,210     | 1,650    | 0,190     |
| 21              | 2,05                    | 2,050  | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 1,650    | 0,400     |
| 25              | 1,87                    | 2,140  | 0,270     | 2,140    | 0,270     | 2,140    | 0,270     | 1,730    | 0,140     |
| 27              | 1,96                    | 2,140  | 0,180     | 2,140    | 0,180     | 2,140    | 0,180     | 1,730    | 0,230     |
| 30              | 2,14                    | 2,140  | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 1,730    | 0,410     |
| 45              | 2,07                    | 2,070  | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,567  | 0,467     | 2,486    | 0,386     | 2,255    | 0,155     | 1,830    | 0,270     |
| 51              | 2,34                    | 2,340  | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,170    | 0,170     | 2,170    | 0,170     |
| 52              | 2,20                    | 2,420  | 0,220     | 2,200    | 0,000     | 2,200    | 0,000     | 2,200    | 0,000     |
| 55              | 2,42                    | 2,420  | 0,000     | 2,200    | 0,220     | 2,200    | 0,220     | 2,020    | 0,400     |
| 60              | 2,38                    | 2,380  | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,200    | 0,180     | 2,020    | 0,360     |
| 64              | 2,23                    | 2,560  | 0,330     | 2,560    | 0,330     | 2,560    | 0,330     | 2,150    | 0,080     |
| 67              | 2,30                    | 2,560  | 0,260     | 2,560    | 0,260     | 2,560    | 0,260     | 2,150    | 0,150     |
| 72              | 2,39                    | 2,560  | 0,170     | 2,560    | 0,170     | 2,560    | 0,170     | 2,150    | 0,240     |
| 75              | 2,56                    | 2,560  | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,150    | 0,410     |
| 76              | 2,22                    | 2,666  | 0,446     | 2,600    | 0,380     | 2,466    | 0,246     | 1,948    | 0,272     |
| 79              | 2,37                    | 2,650  | 0,280     | 2,650    | 0,280     | 2,650    | 0,280     | 2,650    | 0,280     |
| 82              | 2,50                    | 2,650  | 0,150     | 2,650    | 0,150     | 2,650    | 0,150     | 2,650    | 0,150     |
| 85              | 2,58                    | 2,650  | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650  | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,902  | 0,502     | 2,879    | 0,479     | 2,603    | 0,203     | 3,512    | 1,112     |
| 97              | 2,75                    | 2,960  | 0,210     | 2,960    | 0,210     | 2,960    | 0,210     | 2,600    | 0,150     |
| 101             | 2,96                    | 2,960  | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,600    | 0,360     |
| 103             | 2,80                    | 3,190  | 0,390     | 3,162    | 0,362     | 3,613    | 0,813     | 3,104    | 0,304     |
| 107             | 3,19                    | 3,698  | 0,508     | 3,445    | 0,255     | 3,867    | 0,677     | 4,190    | 1,000     |
| 111             | 3,44                    | 3,440  | 0,000     | 3,290    | 0,150     | 3,290    | 0,150     | 2,800    | 0,640     |
| 115             | 3,67                    | 4,001  | 0,331     | 4,068    | 0,398     | 4,173    | 0,503     | 3,470    | 0,200     |
| 118             | 4,27                    | 4,270  | 0,000     | 4,270    | 0,000     | 4,270    | 0,000     | 3,360    | 0,910     |
| 123             | 2,71                    | 2,810  | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 2,400    | 0,310     | 2,400    | 0,310     |
| 127             | 2,81                    | 2,810  | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,400    | 0,410     | 2,400    | 0,410     |
| 134             | 3,08                    | 3,080  | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 2,800    | 0,280     |

Tabela A.07 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de España para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,764  | 0,350     | 2,864    | 0,450     | 2,924    | 0,510     | 2,994    | 0,580     |
| 6               | 18,506                  | 19,136   | 0,630     | 19,286   | 0,780     | 19,396   | 0,890     | 19,516   | 1,010     |
| 7               | 22,529                  | 23,189   | 0,660     | 23,339   | 0,810     | 23,449   | 0,920     | 23,589   | 1,060     |
| 8               | 27,679                  | 28,359   | 0,680     | 28,519   | 0,840     | 28,629   | 0,950     | 28,759   | 1,080     |
| 9               | 30,093                  | 30,733   | 0,640     | 30,873   | 0,780     | 30,973   | 0,880     | 31,093   | 1,000     |
| 10              | 34,599                  | 35,149   | 0,550     | 35,269   | 0,670     | 35,349   | 0,750     | 35,449   | 0,850     |
| 11              | 37,013                  | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     |
| 13              | 30,093                  | 30,473   | 0,380     | 30,543   | 0,450     | 30,653   | 0,560     | 30,733   | 0,640     |
| 14              | 32,507                  | 32,503   | 0,004     | 32,503   | 0,004     | 32,503   | 0,004     | 32,503   | 0,004     |
| 17              | 34,921                  | 34,517   | 0,404     | 34,477   | 0,444     | 34,637   | 0,284     | 34,687   | 0,234     |

Tabela A.08 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de España para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,900  | 0,000     | 0,539    | 0,361     | 0,046    | 0,854     | 0,000    | 0,900     |
| 14              | 2,05                    | 1,650  | 0,400     | 1,650    | 0,400     | 1,650    | 0,400     | 1,640    | 0,410     |
| 16              | 1,84                    | 1,650  | 0,190     | 1,650    | 0,190     | 1,650    | 0,190     | 1,640    | 0,200     |
| 21              | 2,05                    | 1,650  | 0,400     | 1,650    | 0,400     | 1,650    | 0,400     | 1,640    | 0,410     |
| 25              | 1,87                    | 1,800  | 0,070     | 1,730    | 0,140     | 1,650    | 0,220     | 1,640    | 0,230     |
| 27              | 1,96                    | 1,800  | 0,160     | 1,730    | 0,230     | 1,650    | 0,310     | 1,640    | 0,320     |
| 30              | 2,14                    | 1,800  | 0,340     | 1,730    | 0,410     | 1,650    | 0,490     | 1,640    | 0,500     |
| 45              | 2,07                    | 2,070  | 0,000     | 2,030    | 0,040     | 1,650    | 0,420     | 1,040    | 1,030     |
| 48              | 2,10                    | 2,473  | 0,373     | 3,811    | 1,711     | 0,986    | 1,114     | 0,426    | 1,674     |
| 51              | 2,34                    | 2,170  | 0,170     | 2,170    | 0,170     | 1,800    | 0,540     | 1,640    | 0,700     |
| 52              | 2,20                    | 2,200  | 0,000     | 2,020    | 0,180     | 1,880    | 0,320     | 1,640    | 0,560     |
| 55              | 2,42                    | 2,200  | 0,220     | 2,020    | 0,400     | 1,800    | 0,620     | 1,640    | 0,780     |
| 60              | 2,38                    | 2,200  | 0,180     | 2,020    | 0,360     | 1,800    | 0,580     | 1,640    | 0,740     |
| 64              | 2,23                    | 2,150  | 0,080     | 2,150    | 0,080     | 1,900    | 0,330     | 1,640    | 0,590     |
| 67              | 2,30                    | 2,150  | 0,150     | 2,150    | 0,150     | 1,898    | 0,402     | 1,640    | 0,660     |
| 72              | 2,39                    | 2,150  | 0,240     | 2,150    | 0,240     | 1,880    | 0,510     | 1,640    | 0,750     |
| 75              | 2,56                    | 2,150  | 0,410     | 2,150    | 0,410     | 1,810    | 0,750     | 1,640    | 0,920     |
| 76              | 2,22                    | 2,934  | 0,714     | 1,877    | 0,343     | 1,169    | 1,051     | 0,518    | 1,702     |
| 79              | 2,37                    | 2,650  | 0,280     | 2,650    | 0,280     | 1,900    | 0,470     | 1,640    | 0,730     |
| 82              | 2,50                    | 2,650  | 0,150     | 2,650    | 0,150     | 1,895    | 0,605     | 1,640    | 0,860     |
| 85              | 2,58                    | 2,650  | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 1,880    | 0,700     | 1,640    | 0,940     |
| 87              | 2,65                    | 2,650  | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 1,880    | 0,770     | 1,640    | 1,010     |
| 90              | 2,40                    | 3,157  | 0,757     | 3,003    | 0,603     | 1,331    | 1,069     | 0,650    | 1,750     |
| 97              | 2,75                    | 2,600  | 0,150     | 2,600    | 0,150     | 2,140    | 0,610     | 1,650    | 1,100     |
| 101             | 2,96                    | 2,600  | 0,360     | 2,600    | 0,360     | 1,900    | 1,060     | 1,650    | 1,310     |
| 103             | 2,80                    | 3,265  | 0,465     | 2,580    | 0,220     | 1,640    | 1,160     | 0,900    | 1,900     |
| 107             | 3,19                    | 4,270  | 1,080     | 3,360    | 0,170     | 1,841    | 1,349     | 3,160    | 0,030     |
| 111             | 3,44                    | 3,290  | 0,150     | 2,600    | 0,840     | 2,150    | 1,290     | 2,352    | 1,088     |
| 115             | 3,67                    | 4,270  | 0,600     | 3,360    | 0,310     | 2,226    | 1,444     | 2,865    | 0,805     |
| 118             | 4,27                    | 4,270  | 0,000     | 3,360    | 0,910     | 2,600    | 1,670     | 3,470    | 0,800     |
| 123             | 2,71                    | 2,400  | 0,310     | 2,220    | 0,490     | 1,900    | 0,810     | 1,640    | 1,070     |
| 127             | 2,81                    | 2,400  | 0,410     | 2,220    | 0,590     | 1,900    | 0,910     | 1,640    | 1,170     |
| 134             | 3,08                    | 2,800  | 0,280     | 2,600    | 0,480     | 2,140    | 0,940     | 1,800    | 1,280     |

Tabela A.09 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,934  | 0,520     | 3,084    | 0,670     | 3,164    | 0,750     | 3,284    | 0,870     |
| 6                     | 18,506                  | 19,416   | 0,910     | 19,636   | 1,130     | 19,786   | 1,280     | 19,976   | 1,470     |
| 7                     | 22,529                  | 23,469   | 0,940     | 23,699   | 1,170     | 23,859   | 1,330     | 24,049   | 1,520     |
| 8                     | 27,679                  | 28,639   | 0,960     | 28,869   | 1,190     | 29,029   | 1,350     | 29,229   | 1,550     |
| 9                     | 30,093                  | 30,983   | 0,890     | 31,203   | 1,110     | 31,343   | 1,250     | 31,523   | 1,430     |
| 10                    | 34,599                  | 35,369   | 0,770     | 35,559   | 0,960     | 35,679   | 1,080     | 35,829   | 1,230     |
| 11                    | 37,013                  | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     |
| 13                    | 30,093                  | 30,693   | 0,600     | 30,813   | 0,720     | 30,963   | 0,870     | 31,093   | 1,000     |
| 14                    | 32,507                  | 32,503   | 0,004     | 32,503   | 0,004     | 32,503   | 0,004     | 32,503   | 0,004     |
| 17                    | 34,921                  | 34,667   | 0,254     | 34,687   | 0,234     | 34,897   | 0,024     | 34,917   | 0,004     |

Tabela A.10 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 0,060  | 0,840     | 3,470    | 2,570     | 3,470    | 2,570     | 3,878    | 2,978     |
| 14                    | 2,05                    | 1,650  | 0,400     | 1,040    | 1,010     | 1,003    | 1,047     | 1,441    | 0,609     |
| 16                    | 1,84                    | 1,650  | 0,190     | 1,640    | 0,200     | 1,040    | 0,800     | 1,500    | 0,340     |
| 21                    | 2,05                    | 1,650  | 0,400     | 1,040    | 1,010     | 1,003    | 1,047     | 1,438    | 0,612     |
| 25                    | 1,87                    | 1,650  | 0,220     | 1,640    | 0,230     | 1,040    | 0,830     | 1,579    | 0,291     |
| 27                    | 1,96                    | 1,650  | 0,310     | 1,640    | 0,320     | 1,040    | 0,920     | 1,556    | 0,404     |
| 30                    | 2,14                    | 1,650  | 0,490     | 1,640    | 0,500     | 1,027    | 1,113     | 1,503    | 0,637     |
| 45                    | 2,07                    | 1,900  | 0,170     | 1,040    | 1,030     | 1,000    | 1,070     | 1,241    | 0,829     |
| 48                    | 2,10                    | 1,445  | 0,655     | 0,900    | 1,200     | 0,000    | 2,100     | 0,000    | 2,100     |
| 51                    | 2,34                    | 1,900  | 0,440     | 1,640    | 0,700     | 1,040    | 1,300     | 1,625    | 0,715     |
| 52                    | 2,20                    | 1,900  | 0,300     | 1,640    | 0,560     | 1,040    | 1,160     | 1,980    | 0,220     |
| 55                    | 2,42                    | 1,900  | 0,520     | 1,640    | 0,780     | 1,040    | 1,380     | 1,980    | 0,440     |
| 60                    | 2,38                    | 1,900  | 0,480     | 1,640    | 0,740     | 1,040    | 1,340     | 1,999    | 0,381     |
| 64                    | 2,23                    | 2,150  | 0,080     | 1,640    | 0,590     | 1,640    | 0,590     | 2,100    | 0,130     |
| 67                    | 2,30                    | 2,150  | 0,150     | 1,640    | 0,660     | 1,640    | 0,660     | 2,099    | 0,201     |
| 72                    | 2,39                    | 2,150  | 0,240     | 1,640    | 0,750     | 1,040    | 1,350     | 2,081    | 0,309     |
| 75                    | 2,56                    | 2,140  | 0,420     | 1,640    | 0,920     | 1,040    | 1,520     | 2,174    | 0,386     |
| 76                    | 2,22                    | 2,804  | 0,584     | 0,900    | 1,320     | 0,000    | 2,220     | 0,000    | 2,220     |
| 79                    | 2,37                    | 2,150  | 0,220     | 1,640    | 0,730     | 1,640    | 0,730     | 2,299    | 0,071     |
| 82                    | 2,50                    | 2,150  | 0,350     | 1,640    | 0,860     | 1,640    | 0,860     | 2,272    | 0,228     |
| 85                    | 2,58                    | 2,150  | 0,430     | 1,640    | 0,940     | 1,640    | 0,940     | 2,257    | 0,323     |
| 87                    | 2,65                    | 2,150  | 0,500     | 1,640    | 1,010     | 1,640    | 1,010     | 2,250    | 0,400     |
| 90                    | 2,40                    | 3,144  | 0,744     | 0,900    | 1,500     | 0,000    | 2,400     | 0,000    | 2,400     |
| 97                    | 2,75                    | 2,150  | 0,600     | 1,640    | 1,110     | 1,976    | 0,774     | 0,702    | 2,048     |
| 101                   | 2,96                    | 2,150  | 0,810     | 1,640    | 1,320     | 1,730    | 1,230     | 0,537    | 2,423     |
| 103                   | 2,80                    | 2,140  | 0,660     | 2,939    | 0,139     | 0,064    | 2,736     | 0,000    | 2,800     |
| 107                   | 3,19                    | 3,190  | 0,000     | 3,190    | 0,000     | 0,218    | 2,972     | 0,000    | 3,190     |
| 111                   | 3,44                    | 2,580  | 0,860     | 1,880    | 1,560     | 2,600    | 0,840     | 0,000    | 3,440     |
| 115                   | 3,67                    | 3,360  | 0,310     | 1,185    | 2,485     | 0,405    | 3,265     | 0,000    | 3,670     |
| 118                   | 4,27                    | 3,360  | 0,910     | 1,616    | 2,654     | 0,630    | 3,640     | 3,160    | 1,110     |
| 123                   | 2,71                    | 2,150  | 0,560     | 1,640    | 1,070     | 1,640    | 1,070     | 2,400    | 0,310     |
| 127                   | 2,81                    | 2,150  | 0,660     | 1,640    | 1,170     | 1,640    | 1,170     | 2,400    | 0,410     |
| 134                   | 3,08                    | 2,150  | 0,930     | 1,640    | 1,440     | 1,853    | 1,227     | 2,424    | 0,656     |

Tabela A.11 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,424   | 0,010     | 2,454           | 0,040     |
| 6               | 18,506                  | 18,494  | 0,012     | 18,536          | 0,030     |
| 7               | 22,529                  | 22,506  | 0,023     | 22,549          | 0,020     |
| 8               | 27,679                  | 27,634  | 0,045     | 27,669          | 0,010     |
| 9               | 30,093                  | 30,029  | 0,064     | 30,059          | 0,034     |
| 10              | 34,599                  | 34,493  | 0,106     | 34,513          | 0,086     |
| 11              | 37,013                  | 36,884  | 0,129     | 36,899          | 0,114     |

Tabela A.12 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,000   | 0,100     | 1,840           | 0,940     |
| 14              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050           | 0,000     |
| 16              | 1,84                    | 1,950   | 0,110     | 2,050           | 0,210     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050           | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 1,980   | 0,110     | 2,140           | 0,270     |
| 27              | 1,96                    | 2,070   | 0,110     | 2,140           | 0,180     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140           | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070           | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,220   | 0,120     | 3,120           | 1,020     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340           | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,300   | 0,100     | 2,420           | 0,220     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420           | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380           | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,340   | 0,110     | 2,560           | 0,330     |
| 67              | 2,30                    | 2,400   | 0,100     | 2,560           | 0,260     |
| 72              | 2,39                    | 2,490   | 0,100     | 2,560           | 0,170     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560           | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,340   | 0,120     | 3,240           | 1,020     |
| 79              | 2,37                    | 2,490   | 0,120     | 2,650           | 0,280     |
| 82              | 2,50                    | 2,610   | 0,110     | 2,650           | 0,150     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650           | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650           | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,510   | 0,110     | 3,410           | 1,010     |
| 97              | 2,75                    | 2,840   | 0,090     | 2,960           | 0,210     |
| 101             | 2,96                    | 2,960   | 0,000     | 2,960           | 0,000     |
| 103             | 2,80                    | 2,890   | 0,090     | 3,710           | 0,910     |
| 107             | 3,19                    | 3,270   | 0,080     | 4,030           | 0,840     |
| 111             | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440           | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 3,690   | 0,020     | 4,270           | 0,600     |
| 118             | 4,27                    | 4,230   | 0,040     | 4,270           | 0,000     |
| 123             | 2,71                    | 2,800   | 0,090     | 2,810           | 0,100     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810           | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080           | 0,000     |

Tabela A.13 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,424   | 0,010     | 2,429    | 0,015     | 2,429    | 0,015     | 2,429    | 0,015     |
| 6               | 18,506                  | 18,494  | 0,012     | 18,499   | 0,007     | 18,499   | 0,007     | 18,499   | 0,007     |
| 7               | 22,529                  | 22,506  | 0,023     | 22,511   | 0,018     | 22,511   | 0,018     | 22,511   | 0,018     |
| 8               | 27,679                  | 27,634  | 0,045     | 27,634   | 0,045     | 27,629   | 0,050     | 27,624   | 0,055     |
| 9               | 30,093                  | 30,029  | 0,064     | 30,024   | 0,069     | 30,019   | 0,074     | 30,009   | 0,084     |
| 10              | 34,599                  | 34,493  | 0,106     | 34,483   | 0,116     | 34,463   | 0,136     | 34,448   | 0,151     |
| 11              | 37,013                  | 36,884  | 0,129     | 36,864   | 0,149     | 36,844   | 0,169     | 36,824   | 0,189     |

Tabela A.14 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,000   | 0,100     | 1,020    | 0,120     | 1,040    | 0,140     | 1,070    | 0,170     |
| 14              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 16              | 1,84                    | 1,950   | 0,110     | 1,970    | 0,130     | 1,990    | 0,150     | 2,020    | 0,180     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 1,980   | 0,110     | 2,000    | 0,130     | 2,020    | 0,150     | 2,050    | 0,180     |
| 27              | 1,96                    | 2,070   | 0,110     | 2,090    | 0,130     | 2,110    | 0,150     | 2,140    | 0,180     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,220   | 0,120     | 2,240    | 0,140     | 2,270    | 0,170     | 2,300    | 0,200     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,300   | 0,100     | 2,310    | 0,110     | 2,330    | 0,130     | 2,360    | 0,160     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,340   | 0,110     | 2,360    | 0,130     | 2,380    | 0,150     | 2,410    | 0,180     |
| 67              | 2,30                    | 2,400   | 0,100     | 2,430    | 0,130     | 2,450    | 0,150     | 2,480    | 0,180     |
| 72              | 2,39                    | 2,490   | 0,100     | 2,520    | 0,130     | 2,540    | 0,150     | 2,560    | 0,170     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,340   | 0,120     | 2,360    | 0,140     | 2,390    | 0,170     | 2,430    | 0,210     |
| 79              | 2,37                    | 2,490   | 0,120     | 2,510    | 0,140     | 2,540    | 0,170     | 2,580    | 0,210     |
| 82              | 2,50                    | 2,610   | 0,110     | 2,640    | 0,140     | 2,650    | 0,150     | 2,650    | 0,150     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,510   | 0,110     | 2,540    | 0,140     | 2,560    | 0,160     | 2,600    | 0,200     |
| 97              | 2,75                    | 2,840   | 0,090     | 2,860    | 0,110     | 2,880    | 0,130     | 2,900    | 0,150     |
| 101             | 2,96                    | 2,960   | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     |
| 103             | 2,80                    | 2,890   | 0,090     | 2,910    | 0,110     | 2,920    | 0,120     | 2,950    | 0,150     |
| 107             | 3,19                    | 3,270   | 0,080     | 3,280    | 0,090     | 3,300    | 0,110     | 3,330    | 0,140     |
| 111             | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 3,690   | 0,020     | 3,700    | 0,030     | 3,700    | 0,030     | 3,710    | 0,040     |
| 118             | 4,27                    | 4,230   | 0,040     | 4,220    | 0,050     | 4,200    | 0,070     | 4,190    | 0,080     |
| 123             | 2,71                    | 2,800   | 0,090     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     |

Tabela A.15 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,454   | 0,040     | 2,469    | 0,055     | 2,479    | 0,065     | 2,494    | 0,080     |
| 6               | 18,506                  | 18,536  | 0,030     | 18,556   | 0,050     | 18,566   | 0,060     | 18,586   | 0,080     |
| 7               | 22,529                  | 22,549  | 0,020     | 22,569   | 0,040     | 22,574   | 0,045     | 22,589   | 0,060     |
| 8               | 27,679                  | 27,669  | 0,010     | 27,689   | 0,010     | 27,689   | 0,010     | 27,699   | 0,020     |
| 9               | 30,093                  | 30,059  | 0,034     | 30,074   | 0,019     | 30,074   | 0,019     | 30,079   | 0,014     |
| 10              | 34,599                  | 34,513  | 0,086     | 34,518   | 0,081     | 34,508   | 0,091     | 34,503   | 0,096     |
| 11              | 37,013                  | 36,899  | 0,114     | 36,899   | 0,114     | 36,879   | 0,134     | 36,869   | 0,144     |

Tabela A.16 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,840   | 0,940     | 2,000    | 1,100     | 2,140    | 1,240     | 2,320    | 1,420     |
| 14              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 16              | 1,84                    | 2,050   | 0,210     | 2,050    | 0,210     | 2,050    | 0,210     | 2,050    | 0,210     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 2,140   | 0,270     | 2,140    | 0,270     | 2,140    | 0,270     | 2,140    | 0,270     |
| 27              | 1,96                    | 2,140   | 0,180     | 2,140    | 0,180     | 2,140    | 0,180     | 2,140    | 0,180     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 3,120   | 1,020     | 3,300    | 1,200     | 3,460    | 1,360     | 3,610    | 1,510     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,420   | 0,220     | 2,420    | 0,220     | 2,420    | 0,220     | 2,420    | 0,220     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,560   | 0,330     | 2,560    | 0,330     | 2,560    | 0,330     | 2,560    | 0,330     |
| 67              | 2,30                    | 2,560   | 0,260     | 2,560    | 0,260     | 2,560    | 0,260     | 2,560    | 0,260     |
| 72              | 2,39                    | 2,560   | 0,170     | 2,560    | 0,170     | 2,560    | 0,170     | 2,560    | 0,170     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 3,240   | 1,020     | 3,420    | 1,200     | 3,540    | 1,320     | 3,700    | 1,480     |
| 79              | 2,37                    | 2,650   | 0,280     | 2,650    | 0,280     | 2,650    | 0,280     | 2,650    | 0,280     |
| 82              | 2,50                    | 2,650   | 0,150     | 2,650    | 0,150     | 2,650    | 0,150     | 2,650    | 0,150     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 3,410   | 1,010     | 3,560    | 1,160     | 3,670    | 1,270     | 3,820    | 1,420     |
| 97              | 2,75                    | 2,960   | 0,210     | 2,960    | 0,210     | 2,960    | 0,210     | 2,960    | 0,210     |
| 101             | 2,96                    | 2,960   | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     |
| 103             | 2,80                    | 3,710   | 0,910     | 3,830    | 1,030     | 3,930    | 1,130     | 4,060    | 1,260     |
| 107             | 3,19                    | 4,030   | 0,840     | 4,130    | 0,940     | 4,210    | 1,020     | 4,270    | 1,080     |
| 111             | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 4,270   | 0,600     | 4,270    | 0,600     | 4,270    | 0,600     | 4,270    | 0,600     |
| 118             | 4,27                    | 4,270   | 0,000     | 4,270    | 0,000     | 4,270    | 0,000     | 4,270    | 0,000     |
| 123             | 2,71                    | 2,810   | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 5 – MÉTODO DE ESPAÑA

Tabela A.17 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,464                             | 0,050     | 2,464    | 0,050     | 2,444           | 0,030     |
| 6               | 18,506                  | 18,636                            | 0,130     | 18,646   | 0,140     | 17,334          | 1,172     |
| 7               | 22,529                  | 22,679                            | 0,150     | 22,699   | 0,170     | 22,296          | 0,233     |
| 8               | 27,679                  | 27,859                            | 0,180     | 27,879   | 0,200     | 28,599          | 0,920     |
| 9               | 30,093                  | 30,273                            | 0,180     | 30,293   | 0,200     | 31,543          | 1,450     |
| 10              | 34,599                  | 34,759                            | 0,160     | 34,789   | 0,190     | 37,009          | 2,410     |
| 11              | 37,013                  | 37,009                            | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009          | 0,004     |
| 13              | 30,093                  | 30,093                            | 0,000     | 29,989   | 0,104     | 30,523          | 0,430     |
| 14              | 32,507                  | 32,223                            | 0,284     | 32,003   | 0,504     | 32,433          | 0,074     |
| 17              | 34,921                  | 34,267                            | 0,654     | 33,927   | 0,994     | 34,267          | 0,654     |

Tabela A.18 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,061                             | 0,161     | 1,057    | 0,157     | 1,008           | 0,108     |
| 14              | 2,05                    | 2,050                             | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 1,934           | 0,116     |
| 16              | 1,84                    | 1,990                             | 0,150     | 1,985    | 0,145     | 1,857           | 0,017     |
| 21              | 2,05                    | 2,050                             | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050           | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 2,022                             | 0,152     | 2,014    | 0,144     | 1,945           | 0,075     |
| 27              | 1,96                    | 2,101                             | 0,141     | 2,096    | 0,136     | 2,039           | 0,079     |
| 30              | 2,14                    | 2,140                             | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140           | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070                             | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070           | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,198                             | 0,098     | 2,191    | 0,091     | 2,156           | 0,056     |
| 51              | 2,34                    | 2,340                             | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340           | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,323                             | 0,123     | 2,317    | 0,117     | 2,299           | 0,099     |
| 55              | 2,42                    | 2,420                             | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420           | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380                             | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380           | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,346                             | 0,116     | 2,338    | 0,108     | 2,324           | 0,094     |
| 67              | 2,30                    | 2,406                             | 0,106     | 2,399    | 0,099     | 2,395           | 0,095     |
| 72              | 2,39                    | 2,486                             | 0,096     | 2,480    | 0,090     | 2,488           | 0,098     |
| 75              | 2,56                    | 2,560                             | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560           | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,306                             | 0,086     | 2,299    | 0,079     | 2,283           | 0,063     |
| 79              | 2,37                    | 2,474                             | 0,104     | 2,466    | 0,096     | 2,472           | 0,102     |
| 82              | 2,50                    | 2,586                             | 0,086     | 2,580    | 0,080     | 2,605           | 0,105     |
| 85              | 2,58                    | 2,650                             | 0,070     | 2,649    | 0,069     | 2,650           | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650                             | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650           | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,471                             | 0,071     | 2,462    | 0,062     | 2,474           | 0,074     |
| 97              | 2,75                    | 2,793                             | 0,043     | 2,784    | 0,034     | 2,850           | 0,100     |
| 101             | 2,96                    | 2,881                             | 0,079     | 2,874    | 0,086     | 2,959           | 0,001     |
| 103             | 2,80                    | 2,816                             | 0,016     | 2,806    | 0,006     | 2,873           | 0,073     |
| 107             | 3,19                    | 3,142                             | 0,048     | 3,130    | 0,060     | 3,251           | 0,061     |
| 111             | 3,44                    | 3,365                             | 0,075     | 3,356    | 0,084     | 3,440           | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 3,540                             | 0,130     | 3,525    | 0,145     | 3,691           | 0,021     |
| 118             | 4,27                    | 3,980                             | 0,290     | 3,956    | 0,314     | 4,184           | 0,086     |
| 123             | 2,71                    | 2,758                             | 0,048     | 2,753    | 0,043     | 2,802           | 0,092     |
| 127             | 2,81                    | 2,810                             | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810           | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,072                             | 0,008     | 3,065    | 0,015     | 3,080           | 0,000     |

Tabela A.19 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de España para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,444   | 0,030     | 2,534            | 0,120     | 2,654            | 0,240     | 2,774            | 0,360     |
| 6                     | 18,506                  | 17,334  | 1,172     | 16,944           | 1,562     | 16,434           | 2,072     | 15,954           | 2,552     |
| 7                     | 22,529                  | 22,296  | 0,233     | 21,896           | 0,633     | 21,386           | 1,143     | 20,896           | 1,633     |
| 8                     | 27,679                  | 28,599  | 0,920     | 28,199           | 0,520     | 27,679           | 0,000     | 27,189           | 0,490     |
| 9                     | 30,093                  | 31,543  | 1,450     | 31,103           | 1,010     | 30,553           | 0,460     | 30,009           | 0,084     |
| 10                    | 34,599                  | 37,009  | 2,410     | 36,569           | 1,970     | 35,919           | 1,320     | 35,299           | 0,700     |
| 11                    | 37,013                  | 37,009  | 0,004     | 37,009           | 0,004     | 37,009           | 0,004     | 37,009           | 0,004     |
| 13                    | 30,093                  | 30,523  | 0,430     | 30,163           | 0,070     | 29,729           | 0,364     | 29,329           | 0,764     |
| 14                    | 32,507                  | 32,433  | 0,074     | 32,063           | 0,444     | 31,603           | 0,904     | 31,183           | 1,324     |
| 17                    | 34,921                  | 34,267  | 0,654     | 33,897           | 1,024     | 33,447           | 1,474     | 33,027           | 1,894     |

Tabela A.20 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de España para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 1,008   | 0,108     | 1,000            | 0,100     | 0,661            | 0,239     | 0,000            | 0,900     |
| 14                    | 2,05                    | 1,934   | 0,116     | 2,050            | 0,000     | 1,496            | 0,554     | 1,040            | 1,010     |
| 16                    | 1,84                    | 1,857   | 0,017     | 2,050            | 0,210     | 1,700            | 0,140     | 1,650            | 0,190     |
| 21                    | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050            | 0,000     | 1,650            | 0,400     | 1,650            | 0,400     |
| 25                    | 1,87                    | 1,945   | 0,075     | 2,140            | 0,270     | 1,800            | 0,070     | 1,650            | 0,220     |
| 27                    | 1,96                    | 2,039   | 0,079     | 2,140            | 0,180     | 1,800            | 0,160     | 1,650            | 0,310     |
| 30                    | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140            | 0,000     | 1,800            | 0,340     | 1,650            | 0,490     |
| 45                    | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070            | 0,000     | 2,070            | 0,000     | 1,900            | 0,170     |
| 48                    | 2,10                    | 2,156   | 0,056     | 2,207            | 0,107     | 1,640            | 0,460     | 3,677            | 1,577     |
| 51                    | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340            | 0,000     | 2,170            | 0,170     | 1,900            | 0,440     |
| 52                    | 2,20                    | 2,299   | 0,099     | 2,420            | 0,220     | 2,200            | 0,000     | 1,900            | 0,300     |
| 55                    | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420            | 0,000     | 2,200            | 0,220     | 1,900            | 0,520     |
| 60                    | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380            | 0,000     | 2,200            | 0,180     | 1,900            | 0,480     |
| 64                    | 2,23                    | 2,324   | 0,094     | 2,560            | 0,330     | 2,150            | 0,080     | 2,140            | 0,090     |
| 67                    | 2,30                    | 2,395   | 0,095     | 2,560            | 0,260     | 2,150            | 0,150     | 2,140            | 0,160     |
| 72                    | 2,39                    | 2,488   | 0,098     | 2,560            | 0,170     | 2,150            | 0,240     | 2,140            | 0,250     |
| 75                    | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560            | 0,000     | 2,150            | 0,410     | 1,900            | 0,660     |
| 76                    | 2,22                    | 2,283   | 0,063     | 2,353            | 0,133     | 1,755            | 0,465     | 3,784            | 1,564     |
| 79                    | 2,37                    | 2,472   | 0,102     | 2,650            | 0,280     | 2,650            | 0,280     | 2,140            | 0,230     |
| 82                    | 2,50                    | 2,605   | 0,105     | 2,650            | 0,150     | 2,650            | 0,150     | 2,140            | 0,360     |
| 85                    | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650            | 0,070     | 2,650            | 0,070     | 2,140            | 0,440     |
| 87                    | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650            | 0,000     | 2,650            | 0,000     | 2,140            | 0,510     |
| 90                    | 2,40                    | 2,474   | 0,074     | 2,580            | 0,180     | 2,047            | 0,353     | 3,920            | 1,520     |
| 97                    | 2,75                    | 2,850   | 0,100     | 2,960            | 0,210     | 2,600            | 0,150     | 2,150            | 0,600     |
| 101                   | 2,96                    | 2,959   | 0,001     | 2,960            | 0,000     | 2,600            | 0,360     | 2,140            | 0,820     |
| 103                   | 2,80                    | 2,873   | 0,073     | 3,037            | 0,237     | 3,008            | 0,208     | 4,187            | 1,387     |
| 107                   | 3,19                    | 3,251   | 0,061     | 3,332            | 0,142     | 3,990            | 0,800     | 3,122            | 0,068     |
| 111                   | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440            | 0,000     | 3,290            | 0,150     | 2,150            | 1,290     |
| 115                   | 3,67                    | 3,691   | 0,021     | 3,907            | 0,237     | 4,267            | 0,597     | 3,190            | 0,480     |
| 118                   | 4,27                    | 4,184   | 0,086     | 4,270            | 0,000     | 4,270            | 0,000     | 3,190            | 1,080     |
| 123                   | 2,71                    | 2,802   | 0,092     | 2,810            | 0,100     | 2,400            | 0,310     | 2,140            | 0,570     |
| 127                   | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810            | 0,000     | 2,400            | 0,410     | 2,140            | 0,670     |
| 134                   | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080            | 0,000     | 2,800            | 0,280     | 2,150            | 0,930     |

Tabela A.21 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,444   | 0,030     | 2,454    | 0,040     | 2,464    | 0,050     | 2,474    | 0,060     |
| 6               | 18,506                  | 17,334  | 1,172     | 17,364   | 1,142     | 17,374   | 1,132     | 17,404   | 1,102     |
| 7               | 22,529                  | 22,296  | 0,233     | 22,326   | 0,203     | 22,346   | 0,183     | 22,376   | 0,153     |
| 8               | 27,679                  | 28,599  | 0,920     | 28,629   | 0,950     | 28,649   | 0,970     | 28,679   | 1,000     |
| 9               | 30,093                  | 31,543  | 1,450     | 31,573   | 1,480     | 31,583   | 1,490     | 31,613   | 1,520     |
| 10              | 34,599                  | 37,009  | 2,410     | 37,009   | 2,410     | 37,009   | 2,410     | 37,009   | 2,410     |
| 11              | 37,013                  | 37,009  | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     |
| 13              | 30,093                  | 30,523  | 0,430     | 30,503   | 0,410     | 30,523   | 0,430     | 30,513   | 0,420     |
| 14              | 32,507                  | 32,433  | 0,074     | 32,383   | 0,124     | 32,413   | 0,094     | 32,403   | 0,104     |
| 17              | 34,921                  | 34,267  | 0,654     | 34,177   | 0,744     | 34,237   | 0,684     | 34,227   | 0,694     |

Tabela A.22 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,008   | 0,108     | 1,015    | 0,115     | 1,013    | 0,113     | 0,997    | 0,097     |
| 14              | 2,05                    | 1,934   | 0,116     | 1,967    | 0,083     | 1,995    | 0,055     | 2,028    | 0,022     |
| 16              | 1,84                    | 1,857   | 0,017     | 1,889    | 0,049     | 1,908    | 0,068     | 1,937    | 0,097     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 1,945   | 0,075     | 1,972    | 0,102     | 1,994    | 0,124     | 2,017    | 0,147     |
| 27              | 1,96                    | 2,039   | 0,079     | 2,065    | 0,105     | 2,087    | 0,127     | 2,112    | 0,152     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,156   | 0,056     | 2,161    | 0,061     | 2,155    | 0,055     | 2,128    | 0,028     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,299   | 0,099     | 2,324    | 0,124     | 2,345    | 0,145     | 2,372    | 0,172     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,324   | 0,094     | 2,345    | 0,115     | 2,361    | 0,131     | 2,380    | 0,150     |
| 67              | 2,30                    | 2,395   | 0,095     | 2,414    | 0,114     | 2,429    | 0,129     | 2,456    | 0,156     |
| 72              | 2,39                    | 2,488   | 0,098     | 2,507    | 0,117     | 2,522    | 0,132     | 2,542    | 0,152     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,283   | 0,063     | 2,285    | 0,065     | 2,279    | 0,059     | 2,252    | 0,032     |
| 79              | 2,37                    | 2,472   | 0,102     | 2,490    | 0,120     | 2,507    | 0,137     | 2,527    | 0,157     |
| 82              | 2,50                    | 2,605   | 0,105     | 2,621    | 0,121     | 2,634    | 0,134     | 2,650    | 0,150     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,474   | 0,074     | 2,476    | 0,076     | 2,471    | 0,071     | 2,450    | 0,050     |
| 97              | 2,75                    | 2,850   | 0,100     | 2,850    | 0,100     | 2,850    | 0,100     | 2,850    | 0,100     |
| 101             | 2,96                    | 2,959   | 0,001     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     |
| 103             | 2,80                    | 2,873   | 0,073     | 2,868    | 0,068     | 2,858    | 0,058     | 2,839    | 0,039     |
| 107             | 3,19                    | 3,251   | 0,061     | 3,235    | 0,045     | 3,217    | 0,027     | 3,191    | 0,001     |
| 111             | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 3,691   | 0,021     | 3,666    | 0,004     | 3,644    | 0,026     | 3,623    | 0,047     |
| 118             | 4,27                    | 4,184   | 0,086     | 4,136    | 0,134     | 4,098    | 0,172     | 4,065    | 0,205     |
| 123             | 2,71                    | 2,802   | 0,092     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     |

Tabela A.23 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,424                             | 0,010     | 2,419    | 0,005     | 2,419           | 0,005     |
| 6               | 18,506                  | 18,494                            | 0,012     | 18,489   | 0,017     | 18,449          | 0,057     |
| 7               | 22,529                  | 22,506                            | 0,023     | 22,501   | 0,028     | 23,004          | 0,475     |
| 8               | 27,679                  | 27,634                            | 0,045     | 27,629   | 0,050     | 28,809          | 1,130     |
| 9               | 30,093                  | 30,029                            | 0,064     | 30,024   | 0,069     | 31,528          | 1,435     |
| 10              | 34,599                  | 34,493                            | 0,106     | 34,488   | 0,111     | 36,684          | 2,085     |
| 11              | 37,013                  | 36,884                            | 0,129     | 36,874   | 0,139     | 37,009          | 0,004     |

Tabela A.24 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,000                             | 0,100     | 1,000    | 0,100     | 0,970           | 0,070     |
| 14              | 2,05                    | 2,050                             | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,030           | 0,020     |
| 16              | 1,84                    | 1,950                             | 0,110     | 1,940    | 0,100     | 1,860           | 0,020     |
| 21              | 2,05                    | 2,050                             | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050           | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 1,980                             | 0,110     | 1,970    | 0,100     | 1,930           | 0,060     |
| 27              | 1,96                    | 2,070                             | 0,110     | 2,070    | 0,110     | 2,030           | 0,070     |
| 30              | 2,14                    | 2,140                             | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140           | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070                             | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070           | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,220                             | 0,120     | 2,210    | 0,110     | 2,190           | 0,090     |
| 51              | 2,34                    | 2,340                             | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340           | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,300                             | 0,100     | 2,290    | 0,090     | 2,290           | 0,090     |
| 55              | 2,42                    | 2,420                             | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420           | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380                             | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380           | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,340                             | 0,110     | 2,330    | 0,100     | 2,330           | 0,100     |
| 67              | 2,30                    | 2,400                             | 0,100     | 2,400    | 0,100     | 2,410           | 0,110     |
| 72              | 2,39                    | 2,490                             | 0,100     | 2,490    | 0,100     | 2,500           | 0,110     |
| 75              | 2,56                    | 2,560                             | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560           | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,340                             | 0,120     | 2,330    | 0,110     | 2,330           | 0,110     |
| 79              | 2,37                    | 2,490                             | 0,120     | 2,480    | 0,110     | 2,500           | 0,130     |
| 82              | 2,50                    | 2,610                             | 0,110     | 2,610    | 0,110     | 2,640           | 0,140     |
| 85              | 2,58                    | 2,650                             | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650           | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650                             | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650           | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,510                             | 0,110     | 2,510    | 0,110     | 2,530           | 0,130     |
| 97              | 2,75                    | 2,840                             | 0,090     | 2,830    | 0,080     | 2,890           | 0,140     |
| 101             | 2,96                    | 2,960                             | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960           | 0,000     |
| 103             | 2,80                    | 2,890                             | 0,090     | 2,880    | 0,080     | 2,940           | 0,140     |
| 107             | 3,19                    | 3,270                             | 0,080     | 3,260    | 0,070     | 3,370           | 0,180     |
| 111             | 3,44                    | 3,440                             | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440           | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 3,690                             | 0,020     | 3,690    | 0,020     | 3,820           | 0,150     |
| 118             | 4,27                    | 4,230                             | 0,040     | 4,220    | 0,050     | 4,270           | 0,000     |
| 123             | 2,71                    | 2,800                             | 0,090     | 2,790    | 0,080     | 2,810           | 0,100     |
| 127             | 2,81                    | 2,810                             | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810           | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,080                             | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080           | 0,000     |

Tabela A.25 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,419   | 0,005     | 2,434           | 0,020     |
| 6               | 18,506                  | 18,449  | 0,057     | 18,304          | 0,202     |
| 7               | 22,529                  | 23,004  | 0,475     | 22,864          | 0,335     |
| 8               | 27,679                  | 28,809  | 1,130     | 28,664          | 0,985     |
| 9               | 30,093                  | 31,528  | 1,435     | 31,373          | 1,280     |
| 10              | 34,599                  | 36,684  | 2,085     | 36,504          | 1,905     |
| 11              | 37,013                  | 37,009  | 0,004     | 37,009          | 0,004     |

Tabela A.26 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,970   | 0,070     | 1,750           | 0,850     |
| 14              | 2,05                    | 2,030   | 0,020     | 2,050           | 0,000     |
| 16              | 1,84                    | 1,860   | 0,020     | 2,050           | 0,210     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050           | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 1,930   | 0,060     | 2,140           | 0,270     |
| 27              | 1,96                    | 2,030   | 0,070     | 2,140           | 0,180     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140           | 0,000     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070           | 0,000     |
| 48              | 2,10                    | 2,190   | 0,090     | 2,960           | 0,860     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340           | 0,000     |
| 52              | 2,20                    | 2,290   | 0,090     | 2,420           | 0,220     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420           | 0,000     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380           | 0,000     |
| 64              | 2,23                    | 2,330   | 0,100     | 2,560           | 0,330     |
| 67              | 2,30                    | 2,410   | 0,110     | 2,560           | 0,260     |
| 72              | 2,39                    | 2,500   | 0,110     | 2,560           | 0,170     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560           | 0,000     |
| 76              | 2,22                    | 2,330   | 0,110     | 3,080           | 0,860     |
| 79              | 2,37                    | 2,500   | 0,130     | 2,650           | 0,280     |
| 82              | 2,50                    | 2,640   | 0,140     | 2,650           | 0,150     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650           | 0,070     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650           | 0,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,530   | 0,130     | 3,260           | 0,860     |
| 97              | 2,75                    | 2,890   | 0,140     | 2,960           | 0,210     |
| 101             | 2,96                    | 2,960   | 0,000     | 2,960           | 0,000     |
| 103             | 2,80                    | 2,940   | 0,140     | 3,630           | 0,830     |
| 107             | 3,19                    | 3,370   | 0,180     | 3,990           | 0,800     |
| 111             | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440           | 0,000     |
| 115             | 3,67                    | 3,820   | 0,150     | 4,270           | 0,600     |
| 118             | 4,27                    | 4,270   | 0,000     | 4,270           | 0,000     |
| 123             | 2,71                    | 2,810   | 0,100     | 2,810           | 0,100     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810           | 0,000     |
| 134             | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080           | 0,000     |

Tabela A.27 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,419   | 0,005     | 2,419    | 0,005     | 2,424    | 0,010     | 2,424    | 0,010     |
| 6               | 18,506                  | 18,449  | 0,057     | 18,449   | 0,057     | 18,449   | 0,057     | 18,454   | 0,052     |
| 7               | 22,529                  | 23,004  | 0,475     | 23,004   | 0,475     | 23,004   | 0,475     | 23,004   | 0,475     |
| 8               | 27,679                  | 28,809  | 1,130     | 28,809   | 1,130     | 28,804   | 1,125     | 28,799   | 1,120     |
| 9               | 30,093                  | 31,528  | 1,435     | 31,523   | 1,430     | 31,513   | 1,420     | 31,508   | 1,415     |
| 10              | 34,599                  | 36,684  | 2,085     | 36,669   | 2,070     | 36,654   | 2,055     | 36,639   | 2,040     |
| 11              | 37,013                  | 37,009  | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     | 37,009   | 0,004     |

Tabela A.28 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Espanha para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,970   | 0,070     | 0,990    | 0,090     | 1,010    | 0,110     | 0,670    | 0,230     |
| 14              | 2,05                    | 2,030   | 0,020     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 0,640    | 1,410     |
| 16              | 1,84                    | 1,860   | 0,020     | 1,890    | 0,050     | 1,910    | 0,070     | 1,230    | 0,610     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 2,050    | 0,000     | 0,690    | 1,360     |
| 25              | 1,87                    | 1,930   | 0,060     | 1,950    | 0,080     | 1,980    | 0,110     | 1,310    | 0,560     |
| 27              | 1,96                    | 2,030   | 0,070     | 2,050    | 0,090     | 2,080    | 0,120     | 0,850    | 1,110     |
| 30              | 2,14                    | 2,140   | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 2,140    | 0,000     | 1,220    | 0,920     |
| 45              | 2,07                    | 2,070   | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 2,070    | 0,000     | 1,480    | 0,590     |
| 48              | 2,10                    | 2,190   | 0,090     | 2,220    | 0,120     | 2,250    | 0,150     | 1,540    | 0,560     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 2,340    | 0,000     | 1,510    | 0,830     |
| 52              | 2,20                    | 2,290   | 0,090     | 2,310    | 0,110     | 2,330    | 0,130     | 1,480    | 0,720     |
| 55              | 2,42                    | 2,420   | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 2,420    | 0,000     | 0,770    | 1,650     |
| 60              | 2,38                    | 2,380   | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 2,380    | 0,000     | 1,360    | 1,020     |
| 64              | 2,23                    | 2,330   | 0,100     | 2,360    | 0,130     | 2,380    | 0,150     | 1,480    | 0,750     |
| 67              | 2,30                    | 2,410   | 0,110     | 2,430    | 0,130     | 2,460    | 0,160     | 1,470    | 0,830     |
| 72              | 2,39                    | 2,500   | 0,110     | 2,530    | 0,140     | 2,560    | 0,170     | 1,460    | 0,930     |
| 75              | 2,56                    | 2,560   | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 2,560    | 0,000     | 1,440    | 1,120     |
| 76              | 2,22                    | 2,330   | 0,110     | 2,360    | 0,140     | 2,390    | 0,170     | 1,650    | 0,570     |
| 79              | 2,37                    | 2,500   | 0,130     | 2,530    | 0,160     | 2,560    | 0,190     | 1,510    | 0,860     |
| 82              | 2,50                    | 2,640   | 0,140     | 2,650    | 0,150     | 2,650    | 0,150     | 1,530    | 0,970     |
| 85              | 2,58                    | 2,650   | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 2,650    | 0,070     | 1,540    | 1,040     |
| 87              | 2,65                    | 2,650   | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 2,650    | 0,000     | 1,650    | 1,000     |
| 90              | 2,40                    | 2,530   | 0,130     | 2,560    | 0,160     | 2,580    | 0,180     | 3,930    | 1,530     |
| 97              | 2,75                    | 2,890   | 0,140     | 2,910    | 0,160     | 2,930    | 0,180     | 1,550    | 1,200     |
| 101             | 2,96                    | 2,960   | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 2,960    | 0,000     | 1,450    | 1,510     |
| 103             | 2,80                    | 2,940   | 0,140     | 2,970    | 0,170     | 2,990    | 0,190     | 1,850    | 0,950     |
| 107             | 3,19                    | 3,370   | 0,180     | 3,400    | 0,210     | 3,420    | 0,230     | 3,900    | 0,710     |
| 111             | 3,44                    | 3,440   | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 3,440    | 0,000     | 1,420    | 2,020     |
| 115             | 3,67                    | 3,820   | 0,150     | 3,820    | 0,150     | 3,830    | 0,160     | 3,870    | 0,200     |
| 118             | 4,27                    | 4,270   | 0,000     | 4,270    | 0,000     | 4,270    | 0,000     | 1,100    | 3,170     |
| 123             | 2,71                    | 2,810   | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 2,810    | 0,100     | 0,810    | 1,900     |
| 127             | 2,81                    | 2,810   | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 2,810    | 0,000     | 1,250    | 1,560     |
| 134             | 3,08                    | 3,080   | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 3,080    | 0,000     | 0,840    | 2,240     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE NOVOSEL

Tabela A.29 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,425   | 0,011     | 2,565            | 0,151     | 2,854            | 0,440     | 3,257            | 0,843     |
| 6               | 18,506                  | 18,408  | 0,098     | 18,591           | 0,085     | 18,926           | 0,420     | 19,371           | 0,865     |
| 7               | 22,529                  | 22,401  | 0,128     | 22,578           | 0,049     | 22,903           | 0,374     | 23,337           | 0,808     |
| 8               | 27,679                  | 27,644  | 0,035     | 27,804           | 0,125     | 28,108           | 0,429     | 28,520           | 0,841     |
| 9               | 30,093                  | 30,091  | 0,002     | 30,224           | 0,131     | 30,491           | 0,398     | 30,869           | 0,776     |
| 10              | 34,599                  | 34,630  | 0,031     | 34,706           | 0,107     | 34,902           | 0,303     | 35,210           | 0,611     |
| 11              | 37,013                  | 36,993  | 0,020     | 37,039           | 0,026     | 37,195           | 0,182     | 37,464           | 0,451     |
| 13              | 30,093                  | 29,880  | 0,213     | 29,876           | 0,217     | 29,975           | 0,118     | 30,185           | 0,092     |
| 14              | 32,507                  | 32,152  | 0,355     | 32,184           | 0,323     | 32,326           | 0,181     | 32,573           | 0,066     |
| 17              | 34,921                  | 34,163  | 0,758     | 34,139           | 0,782     | 34,208           | 0,713     | 34,381           | 0,540     |

Tabela A.30 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,061   | 0,161     | 1,469            | 0,569     | 1,827            | 0,927     | 2,069            | 1,169     |
| 14              | 2,05                    | 2,248   | 0,198     | 2,615            | 0,565     | 2,924            | 0,874     | 3,126            | 1,076     |
| 16              | 1,84                    | 2,023   | 0,183     | 2,405            | 0,565     | 2,718            | 0,878     | 2,918            | 1,078     |
| 21              | 2,05                    | 2,236   | 0,186     | 2,571            | 0,521     | 2,846            | 0,796     | 3,022            | 0,972     |
| 25              | 1,87                    | 2,047   | 0,177     | 2,419            | 0,549     | 2,718            | 0,848     | 2,905            | 1,035     |
| 27              | 1,96                    | 2,139   | 0,179     | 2,49             | 0,530     | 2,772            | 0,812     | 2,949            | 0,989     |
| 30              | 2,14                    | 2,320   | 0,180     | 2,630            | 0,490     | 2,880            | 0,740     | 3,037            | 0,897     |
| 45              | 2,07                    | 2,227   | 0,157     | 2,486            | 0,416     | 2,679            | 0,609     | 2,795            | 0,725     |
| 48              | 2,10                    | 2,283   | 0,183     | 2,761            | 0,661     | 3,170            | 1,070     | 3,439            | 1,339     |
| 51              | 2,34                    | 2,493   | 0,153     | 2,717            | 0,377     | 2,885            | 0,545     | 2,985            | 0,645     |
| 52              | 2,20                    | 2,373   | 0,173     | 2,716            | 0,516     | 2,986            | 0,786     | 3,155            | 0,955     |
| 55              | 2,42                    | 2,600   | 0,180     | 2,889            | 0,469     | 3,117            | 0,697     | 3,260            | 0,840     |
| 60              | 2,38                    | 2,551   | 0,171     | 2,819            | 0,439     | 3,026            | 0,646     | 3,154            | 0,774     |
| 64              | 2,23                    | 2,382   | 0,152     | 2,673            | 0,443     | 2,893            | 0,663     | 3,027            | 0,797     |
| 67              | 2,30                    | 2,453   | 0,153     | 2,727            | 0,427     | 2,935            | 0,635     | 3,061            | 0,761     |
| 72              | 2,39                    | 2,544   | 0,154     | 2,796            | 0,406     | 2,988            | 0,598     | 3,104            | 0,714     |
| 75              | 2,56                    | 2,713   | 0,153     | 2,925            | 0,365     | 3,085            | 0,525     | 3,182            | 0,622     |
| 76              | 2,22                    | 2,401   | 0,181     | 2,873            | 0,653     | 3,276            | 1,056     | 3,541            | 1,321     |
| 79              | 2,37                    | 2,526   | 0,156     | 2,767            | 0,397     | 2,946            | 0,576     | 3,054            | 0,684     |
| 82              | 2,50                    | 2,651   | 0,151     | 2,863            | 0,363     | 3,021            | 0,521     | 3,115            | 0,615     |
| 85              | 2,58                    | 2,728   | 0,148     | 2,921            | 0,341     | 3,065            | 0,485     | 3,151            | 0,571     |
| 87              | 2,65                    | 2,794   | 0,144     | 2,971            | 0,321     | 3,102            | 0,452     | 3,181            | 0,531     |
| 90              | 2,40                    | 2,576   | 0,176     | 3,031            | 0,631     | 3,418            | 1,018     | 3,672            | 1,272     |
| 97              | 2,75                    | 2,899   | 0,149     | 3,119            | 0,369     | 3,287            | 0,537     | 3,389            | 0,639     |
| 101             | 2,96                    | 3,106   | 0,146     | 3,276            | 0,316     | 3,406            | 0,446     | 3,485            | 0,525     |
| 103             | 2,80                    | 2,958   | 0,158     | 3,361            | 0,561     | 3,703            | 0,903     | 3,928            | 1,128     |
| 107             | 3,19                    | 3,341   | 0,151     | 3,674            | 0,484     | 3,957            | 0,767     | 4,144            | 0,954     |
| 111             | 3,44                    | 3,560   | 0,120     | 3,666            | 0,226     | 3,748            | 0,308     | 3,798            | 0,358     |
| 115             | 3,67                    | 3,789   | 0,119     | 4,034            | 0,364     | 4,242            | 0,572     | 4,380            | 0,710     |
| 118             | 4,27                    | 4,347   | 0,077     | 4,482            | 0,212     | 4,596            | 0,326     | 4,672            | 0,402     |
| 123             | 2,71                    | 2,885   | 0,175     | 3,168            | 0,458     | 3,395            | 0,685     | 3,537            | 0,827     |
| 127             | 2,81                    | 2,985   | 0,175     | 3,245            | 0,435     | 3,454            | 0,644     | 3,585            | 0,775     |
| 134             | 3,08                    | 3,209   | 0,129     | 3,328            | 0,248     | 3,417            | 0,337     | 3,471            | 0,391     |

Tabela A.31 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.5 % CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,425   | 0,011     | 2,432    | 0,018     | 2,438    | 0,024     | 2,445    | 0,031     |
| 6               | 18,506                  | 18,408  | 0,098     | 18,419   | 0,087     | 18,434   | 0,072     | 18,448   | 0,058     |
| 7               | 22,529                  | 22,401  | 0,128     | 22,413   | 0,116     | 22,430   | 0,099     | 22,445   | 0,084     |
| 8               | 27,679                  | 27,644  | 0,035     | 27,658   | 0,021     | 27,679   | 0,001     | 27,695   | 0,016     |
| 9               | 30,093                  | 30,091  | 0,002     | 30,104   | 0,011     | 30,123   | 0,030     | 30,138   | 0,045     |
| 10              | 34,599                  | 34,630  | 0,031     | 34,633   | 0,034     | 34,643   | 0,044     | 34,650   | 0,051     |
| 11              | 37,013                  | 36,993  | 0,020     | 36,989   | 0,025     | 36,993   | 0,020     | 36,993   | 0,020     |
| 13              | 30,093                  | 29,880  | 0,213     | 29,806   | 0,287     | 29,797   | 0,296     | 29,756   | 0,338     |
| 14              | 32,507                  | 32,152  | 0,355     | 32,074   | 0,433     | 32,135   | 0,372     | 32,126   | 0,382     |
| 17              | 34,921                  | 34,163  | 0,758     | 34,011   | 0,910     | 34,105   | 0,816     | 34,075   | 0,846     |

Tabela A.32 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,061   | 0,161     | 1,099    | 0,199     | 1,134    | 0,234     | 1,185    | 0,285     |
| 14              | 2,05                    | 2,248   | 0,198     | 2,289    | 0,239     | 2,327    | 0,277     | 2,382    | 0,332     |
| 16              | 1,84                    | 2,023   | 0,183     | 2,064    | 0,224     | 2,102    | 0,262     | 2,157    | 0,317     |
| 21              | 2,05                    | 2,236   | 0,186     | 2,275    | 0,225     | 2,311    | 0,261     | 2,361    | 0,311     |
| 25              | 1,87                    | 2,047   | 0,177     | 2,087    | 0,217     | 2,124    | 0,254     | 2,178    | 0,308     |
| 27              | 1,96                    | 2,139   | 0,179     | 2,178    | 0,218     | 2,215    | 0,255     | 2,267    | 0,307     |
| 30              | 2,14                    | 2,320   | 0,180     | 2,357    | 0,217     | 2,392    | 0,252     | 2,440    | 0,300     |
| 45              | 2,07                    | 2,227   | 0,157     | 2,260    | 0,190     | 2,290    | 0,220     | 2,333    | 0,263     |
| 48              | 2,10                    | 2,283   | 0,183     | 2,329    | 0,229     | 2,372    | 0,272     | 2,437    | 0,337     |
| 51              | 2,34                    | 2,493   | 0,153     | 2,524    | 0,184     | 2,553    | 0,213     | 2,593    | 0,253     |
| 52              | 2,20                    | 2,373   | 0,173     | 2,412    | 0,212     | 2,448    | 0,248     | 2,500    | 0,300     |
| 55              | 2,42                    | 2,600   | 0,180     | 2,637    | 0,217     | 2,670    | 0,250     | 2,718    | 0,298     |
| 60              | 2,38                    | 2,551   | 0,171     | 2,586    | 0,206     | 2,618    | 0,238     | 2,663    | 0,283     |
| 64              | 2,23                    | 2,382   | 0,152     | 2,417    | 0,187     | 2,450    | 0,220     | 2,497    | 0,267     |
| 67              | 2,30                    | 2,453   | 0,153     | 2,487    | 0,187     | 2,519    | 0,219     | 2,564    | 0,264     |
| 72              | 2,39                    | 2,544   | 0,154     | 2,577    | 0,187     | 2,607    | 0,217     | 2,650    | 0,260     |
| 75              | 2,56                    | 2,713   | 0,153     | 2,744    | 0,184     | 2,771    | 0,211     | 2,810    | 0,250     |
| 76              | 2,22                    | 2,401   | 0,181     | 2,447    | 0,227     | 2,490    | 0,270     | 2,555    | 0,335     |
| 79              | 2,37                    | 2,526   | 0,156     | 2,559    | 0,189     | 2,588    | 0,218     | 2,631    | 0,261     |
| 82              | 2,50                    | 2,651   | 0,151     | 2,682    | 0,182     | 2,710    | 0,210     | 2,750    | 0,250     |
| 85              | 2,58                    | 2,728   | 0,148     | 2,757    | 0,177     | 2,784    | 0,204     | 2,822    | 0,242     |
| 87              | 2,65                    | 2,794   | 0,144     | 2,823    | 0,173     | 2,848    | 0,198     | 2,885    | 0,235     |
| 90              | 2,40                    | 2,576   | 0,176     | 2,621    | 0,221     | 2,663    | 0,263     | 2,727    | 0,327     |
| 97              | 2,75                    | 2,899   | 0,149     | 2,930    | 0,180     | 2,958    | 0,208     | 3,001    | 0,251     |
| 101             | 2,96                    | 3,106   | 0,146     | 3,134    | 0,174     | 3,158    | 0,198     | 3,197    | 0,237     |
| 103             | 2,80                    | 2,958   | 0,158     | 2,999    | 0,199     | 3,036    | 0,236     | 3,094    | 0,294     |
| 107             | 3,19                    | 3,341   | 0,151     | 3,376    | 0,186     | 3,405    | 0,215     | 3,453    | 0,263     |
| 111             | 3,44                    | 3,560   | 0,120     | 3,580    | 0,140     | 3,595    | 0,155     | 3,621    | 0,181     |
| 115             | 3,67                    | 3,789   | 0,119     | 3,813    | 0,143     | 3,831    | 0,161     | 3,862    | 0,192     |
| 118             | 4,27                    | 4,347   | 0,077     | 4,353    | 0,083     | 4,352    | 0,082     | 4,357    | 0,087     |
| 123             | 2,71                    | 2,885   | 0,175     | 2,921    | 0,211     | 2,954    | 0,244     | 3,003    | 0,293     |
| 127             | 2,81                    | 2,985   | 0,175     | 3,020    | 0,210     | 3,051    | 0,241     | 3,097    | 0,287     |
| 134             | 3,08                    | 3,209   | 0,129     | 3,233    | 0,153     | 3,253    | 0,173     | 3,285    | 0,205     |

Tabela A.33 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,565  | 0,151     | 2,605    | 0,191     | 2,643    | 0,229     | 2,681    | 0,267     |
| 6               | 18,506                  | 18,591   | 0,085     | 18,644   | 0,138     | 18,711   | 0,205     | 18,771   | 0,265     |
| 7               | 22,529                  | 22,578   | 0,049     | 22,630   | 0,101     | 22,701   | 0,172     | 22,762   | 0,233     |
| 8               | 27,679                  | 27,804   | 0,125     | 27,855   | 0,176     | 27,929   | 0,250     | 27,990   | 0,311     |
| 9               | 30,093                  | 30,224   | 0,131     | 30,266   | 0,173     | 30,335   | 0,242     | 30,390   | 0,297     |
| 10              | 34,599                  | 34,706   | 0,107     | 34,728   | 0,129     | 34,780   | 0,181     | 34,816   | 0,217     |
| 11              | 37,013                  | 37,039   | 0,026     | 37,047   | 0,034     | 37,088   | 0,075     | 37,112   | 0,099     |
| 13              | 30,093                  | 29,876   | 0,217     | 29,823   | 0,270     | 29,887   | 0,207     | 29,891   | 0,202     |
| 14              | 32,507                  | 32,184   | 0,323     | 32,137   | 0,370     | 32,284   | 0,224     | 32,330   | 0,177     |
| 17              | 34,921                  | 34,139   | 0,782     | 34,017   | 0,904     | 34,211   | 0,710     | 34,241   | 0,680     |

Tabela A.34 – Localização de falta monofásica estimada pelo método Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,469  | 0,569     | 1,566    | 0,666     | 1,650    | 0,750     | 1,760    | 0,860     |
| 14              | 2,05                    | 2,615  | 0,565     | 2,702    | 0,652     | 2,774    | 0,724     | 2,863    | 0,813     |
| 16              | 1,84                    | 2,405  | 0,565     | 2,494    | 0,654     | 2,567    | 0,727     | 2,660    | 0,820     |
| 21              | 2,05                    | 2,571  | 0,521     | 2,650    | 0,600     | 2,713    | 0,663     | 2,792    | 0,742     |
| 25              | 1,87                    | 2,419  | 0,549     | 2,505    | 0,635     | 2,575    | 0,705     | 2,663    | 0,793     |
| 27              | 1,96                    | 2,49   | 0,530     | 2,571    | 0,611     | 2,637    | 0,677     | 2,72     | 0,760     |
| 30              | 2,14                    | 2,630  | 0,490     | 2,702    | 0,562     | 2,760    | 0,620     | 2,831    | 0,691     |
| 45              | 2,07                    | 2,486  | 0,416     | 2,543    | 0,473     | 2,589    | 0,519     | 2,644    | 0,574     |
| 48              | 2,10                    | 2,761  | 0,661     | 2,873    | 0,773     | 2,967    | 0,867     | 3,091    | 0,991     |
| 51              | 2,34                    | 2,717  | 0,377     | 2,768    | 0,428     | 2,806    | 0,466     | 2,855    | 0,515     |
| 52              | 2,20                    | 2,716  | 0,516     | 2,794    | 0,594     | 2,856    | 0,656     | 2,938    | 0,738     |
| 55              | 2,42                    | 2,889  | 0,469     | 2,955    | 0,535     | 3,007    | 0,587     | 3,073    | 0,653     |
| 60              | 2,38                    | 2,819  | 0,439     | 2,880    | 0,500     | 2,927    | 0,547     | 2,988    | 0,608     |
| 64              | 2,23                    | 2,673  | 0,443     | 2,737    | 0,507     | 2,788    | 0,558     | 2,856    | 0,626     |
| 67              | 2,30                    | 2,727  | 0,427     | 2,788    | 0,488     | 2,836    | 0,536     | 2,899    | 0,599     |
| 72              | 2,39                    | 2,796  | 0,406     | 2,852    | 0,462     | 2,896    | 0,506     | 2,953    | 0,563     |
| 75              | 2,56                    | 2,925  | 0,365     | 2,972    | 0,412     | 3,007    | 0,447     | 3,053    | 0,493     |
| 76              | 2,22                    | 2,873  | 0,653     | 2,984    | 0,764     | 3,075    | 0,855     | 3,199    | 0,979     |
| 79              | 2,37                    | 2,767  | 0,397     | 2,821    | 0,451     | 2,862    | 0,492     | 2,918    | 0,548     |
| 82              | 2,50                    | 2,863  | 0,363     | 2,910    | 0,410     | 2,946    | 0,446     | 2,994    | 0,494     |
| 85              | 2,58                    | 2,921  | 0,341     | 2,964    | 0,384     | 2,997    | 0,417     | 3,040    | 0,460     |
| 87              | 2,65                    | 2,971  | 0,321     | 3,011    | 0,361     | 3,040    | 0,390     | 3,078    | 0,428     |
| 90              | 2,40                    | 3,031  | 0,631     | 3,136    | 0,736     | 3,222    | 0,822     | 3,343    | 0,943     |
| 97              | 2,75                    | 3,119  | 0,369     | 3,167    | 0,417     | 3,204    | 0,454     | 3,264    | 0,514     |
| 101             | 2,96                    | 3,276  | 0,316     | 3,313    | 0,353     | 3,339    | 0,379     | 3,385    | 0,425     |
| 103             | 2,80                    | 3,361  | 0,561     | 3,451    | 0,651     | 3,523    | 0,723     | 3,632    | 0,832     |
| 107             | 3,19                    | 3,674  | 0,484     | 3,745    | 0,555     | 3,797    | 0,607     | 3,880    | 0,690     |
| 111             | 3,44                    | 3,666  | 0,226     | 3,685    | 0,245     | 3,694    | 0,254     | 3,715    | 0,275     |
| 115             | 3,67                    | 4,034  | 0,364     | 4,078    | 0,408     | 4,107    | 0,437     | 4,155    | 0,485     |
| 118             | 4,27                    | 4,482  | 0,212     | 4,490    | 0,220     | 4,486    | 0,216     | 4,489    | 0,219     |
| 123             | 2,71                    | 3,168  | 0,458     | 3,232    | 0,522     | 3,281    | 0,571     | 3,350    | 0,640     |
| 127             | 2,81                    | 3,245  | 0,435     | 3,304    | 0,494     | 3,348    | 0,538     | 3,410    | 0,600     |
| 134             | 3,08                    | 3,328  | 0,248     | 3,354    | 0,274     | 3,369    | 0,289     | 3,401    | 0,321     |

Tabela A.35 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,854  | 0,440     | 2,966    | 0,552     | 3,071    | 0,657     | 3,176    | 0,762     |
| 6               | 18,506                  | 18,926   | 0,420     | 19,059   | 0,553     | 19,220   | 0,714     | 19,364   | 0,858     |
| 7               | 22,529                  | 22,903   | 0,374     | 23,032   | 0,503     | 23,199   | 0,670     | 23,343   | 0,814     |
| 8               | 27,679                  | 28,108   | 0,429     | 28,231   | 0,552     | 28,400   | 0,721     | 28,542   | 0,863     |
| 9               | 30,093                  | 30,491   | 0,398     | 30,599   | 0,506     | 30,758   | 0,665     | 30,887   | 0,794     |
| 10              | 34,599                  | 34,902   | 0,303     | 34,974   | 0,375     | 35,106   | 0,507     | 35,204   | 0,605     |
| 11              | 37,013                  | 37,195   | 0,182     | 37,245   | 0,232     | 37,359   | 0,346     | 37,438   | 0,425     |
| 13              | 30,093                  | 29,975   | 0,118     | 29,975   | 0,118     | 30,155   | 0,062     | 30,240   | 0,147     |
| 14              | 32,507                  | 32,326   | 0,181     | 32,343   | 0,164     | 32,621   | 0,114     | 32,758   | 0,251     |
| 17              | 34,921                  | 34,208   | 0,713     | 34,147   | 0,774     | 34,488   | 0,433     | 34,614   | 0,307     |

Tabela A.36 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,827  | 0,927     | 1,947    | 1,047     | 2,042    | 1,142     | 2,157    | 1,257     |
| 14              | 2,05                    | 2,924  | 0,874     | 3,021    | 0,971     | 3,092    | 1,042     | 3,171    | 1,121     |
| 16              | 1,84                    | 2,718  | 0,878     | 2,816    | 0,976     | 2,888    | 1,048     | 2,970    | 1,130     |
| 21              | 2,05                    | 2,846  | 0,796     | 2,931    | 0,881     | 2,992    | 0,942     | 3,059    | 1,009     |
| 25              | 1,87                    | 2,718  | 0,848     | 2,810    | 0,940     | 2,877    | 1,007     | 2,952    | 1,082     |
| 27              | 1,96                    | 2,772  | 0,812     | 2,858    | 0,898     | 2,921    | 0,961     | 2,99     | 1,030     |
| 30              | 2,14                    | 2,880  | 0,740     | 2,955    | 0,815     | 3,008    | 0,868     | 3,065    | 0,925     |
| 45              | 2,07                    | 2,679  | 0,609     | 2,735    | 0,665     | 2,773    | 0,703     | 2,814    | 0,744     |
| 48              | 2,10                    | 3,170  | 1,070     | 3,299    | 1,199     | 3,394    | 1,294     | 3,510    | 1,410     |
| 51              | 2,34                    | 2,885  | 0,545     | 2,932    | 0,592     | 2,962    | 0,622     | 2,997    | 0,657     |
| 52              | 2,20                    | 2,986  | 0,786     | 3,067    | 0,867     | 3,125    | 0,925     | 3,192    | 0,992     |
| 55              | 2,42                    | 3,117  | 0,697     | 3,184    | 0,764     | 3,229    | 0,809     | 3,282    | 0,862     |
| 60              | 2,38                    | 3,026  | 0,646     | 3,086    | 0,706     | 3,127    | 0,747     | 3,173    | 0,793     |
| 64              | 2,23                    | 2,893  | 0,663     | 2,957    | 0,727     | 3,001    | 0,771     | 3,055    | 0,825     |
| 67              | 2,30                    | 2,935  | 0,635     | 2,995    | 0,695     | 3,036    | 0,736     | 3,084    | 0,784     |
| 72              | 2,39                    | 2,988  | 0,598     | 3,042    | 0,652     | 3,078    | 0,688     | 3,121    | 0,731     |
| 75              | 2,56                    | 3,085  | 0,525     | 3,129    | 0,569     | 3,156    | 0,596     | 3,188    | 0,628     |
| 76              | 2,22                    | 3,276  | 1,056     | 3,402    | 1,182     | 3,494    | 1,274     | 3,609    | 1,389     |
| 79              | 2,37                    | 2,946  | 0,576     | 2,997    | 0,627     | 3,030    | 0,660     | 3,073    | 0,703     |
| 82              | 2,50                    | 3,021  | 0,521     | 3,064    | 0,564     | 3,091    | 0,591     | 3,126    | 0,626     |
| 85              | 2,58                    | 3,065  | 0,485     | 3,104    | 0,524     | 3,127    | 0,547     | 3,157    | 0,577     |
| 87              | 2,65                    | 3,102  | 0,452     | 3,137    | 0,487     | 3,157    | 0,507     | 3,183    | 0,533     |
| 90              | 2,40                    | 3,418  | 1,018     | 3,537    | 1,137     | 3,623    | 1,223     | 3,735    | 1,335     |
| 97              | 2,75                    | 3,287  | 0,537     | 3,331    | 0,581     | 3,359    | 0,609     | 3,410    | 0,660     |
| 101             | 2,96                    | 3,406  | 0,446     | 3,437    | 0,477     | 3,453    | 0,493     | 3,491    | 0,531     |
| 103             | 2,80                    | 3,703  | 0,903     | 3,803    | 1,003     | 3,871    | 1,071     | 3,973    | 1,173     |
| 107             | 3,19                    | 3,957  | 0,767     | 4,032    | 0,842     | 4,079    | 0,889     | 4,152    | 0,962     |
| 111             | 3,44                    | 3,748  | 0,308     | 3,759    | 0,319     | 3,757    | 0,317     | 3,769    | 0,329     |
| 115             | 3,67                    | 4,242  | 0,572     | 4,286    | 0,616     | 4,306    | 0,636     | 4,343    | 0,673     |
| 118             | 4,27                    | 4,596  | 0,326     | 4,599    | 0,329     | 4,583    | 0,313     | 4,576    | 0,306     |
| 123             | 2,71                    | 3,395  | 0,685     | 3,458    | 0,748     | 3,500    | 0,790     | 3,557    | 0,847     |
| 127             | 2,81                    | 3,454  | 0,644     | 3,511    | 0,701     | 3,547    | 0,737     | 3,597    | 0,787     |
| 134             | 3,08                    | 3,417  | 0,337     | 3,436    | 0,356     | 3,441    | 0,361     | 3,464    | 0,384     |

Tabela A.37 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 3,257  | 0,843     | 3,465    | 1,051     | 3,664    | 1,250     | 3,860    | 1,446     |
| 6                     | 18,506                  | 19,371   | 0,865     | 19,609   | 1,103     | 19,888   | 1,382     | 20,136   | 1,630     |
| 7                     | 22,529                  | 23,337   | 0,808     | 23,568   | 1,039     | 23,854   | 1,325     | 24,103   | 1,574     |
| 8                     | 27,679                  | 28,520   | 0,841     | 28,740   | 1,061     | 29,029   | 1,350     | 29,274   | 1,595     |
| 9                     | 30,093                  | 30,869   | 0,776     | 31,067   | 0,974     | 31,340   | 1,247     | 31,566   | 1,473     |
| 10                    | 34,599                  | 35,210   | 0,611     | 35,359   | 0,760     | 35,594   | 0,995     | 35,778   | 1,179     |
| 11                    | 37,013                  | 37,464   | 0,451     | 37,582   | 0,569     | 37,795   | 0,782     | 37,953   | 0,940     |
| 13                    | 30,093                  | 30,185   | 0,092     | 30,261   | 0,168     | 30,577   | 0,484     | 30,759   | 0,666     |
| 14                    | 32,507                  | 32,573   | 0,066     | 32,675   | 0,168     | 33,102   | 0,595     | 33,345   | 0,838     |
| 17                    | 34,921                  | 34,381   | 0,540     | 34,402   | 0,519     | 34,903   | 0,018     | 35,137   | 0,216     |

Tabela A.38 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 2,069  | 1,169     | 2,189    | 1,289     | 2,278    | 1,378     | 2,381    | 1,481     |
| 14                    | 2,05                    | 3,126  | 1,076     | 3,216    | 1,166     | 3,276    | 1,226     | 3,337    | 1,287     |
| 16                    | 1,84                    | 2,918  | 1,078     | 3,009    | 1,169     | 3,070    | 1,230     | 3,133    | 1,293     |
| 21                    | 2,05                    | 3,022  | 0,972     | 3,100    | 1,050     | 3,150    | 1,100     | 3,200    | 1,150     |
| 25                    | 1,87                    | 2,905  | 1,035     | 2,989    | 1,119     | 3,045    | 1,175     | 3,102    | 1,232     |
| 27                    | 1,96                    | 2,949  | 0,989     | 3,027    | 1,067     | 3,079    | 1,119     | 3,131    | 1,171     |
| 30                    | 2,14                    | 3,037  | 0,897     | 3,104    | 0,964     | 3,146    | 1,006     | 3,187    | 1,047     |
| 45                    | 2,07                    | 2,795  | 0,725     | 2,843    | 0,773     | 2,872    | 0,802     | 2,899    | 0,829     |
| 48                    | 2,10                    | 3,439  | 1,339     | 3,561    | 1,461     | 3,643    | 1,543     | 3,736    | 1,636     |
| 51                    | 2,34                    | 2,985  | 0,645     | 3,023    | 0,683     | 3,045    | 0,705     | 3,068    | 0,728     |
| 52                    | 2,20                    | 3,155  | 0,955     | 3,227    | 1,027     | 3,272    | 1,072     | 3,322    | 1,122     |
| 55                    | 2,42                    | 3,260  | 0,840     | 3,318    | 0,898     | 3,352    | 0,932     | 3,389    | 0,969     |
| 60                    | 2,38                    | 3,154  | 0,774     | 3,205    | 0,825     | 3,235    | 0,855     | 3,267    | 0,887     |
| 64                    | 2,23                    | 3,027  | 0,797     | 3,082    | 0,852     | 3,115    | 0,885     | 3,154    | 0,924     |
| 67                    | 2,30                    | 3,061  | 0,761     | 3,112    | 0,812     | 3,142    | 0,842     | 3,177    | 0,877     |
| 72                    | 2,39                    | 3,104  | 0,714     | 3,149    | 0,759     | 3,175    | 0,785     | 3,205    | 0,815     |
| 75                    | 2,56                    | 3,182  | 0,622     | 3,218    | 0,658     | 3,236    | 0,676     | 3,255    | 0,695     |
| 76                    | 2,22                    | 3,541  | 1,321     | 3,659    | 1,439     | 3,738    | 1,518     | 3,830    | 1,610     |
| 79                    | 2,37                    | 3,054  | 0,684     | 3,095    | 0,725     | 3,119    | 0,749     | 3,150    | 0,780     |
| 82                    | 2,50                    | 3,115  | 0,615     | 3,150    | 0,650     | 3,168    | 0,668     | 3,192    | 0,692     |
| 85                    | 2,58                    | 3,151  | 0,571     | 3,181    | 0,601     | 3,196    | 0,616     | 3,215    | 0,635     |
| 87                    | 2,65                    | 3,181  | 0,531     | 3,208    | 0,558     | 3,219    | 0,569     | 3,235    | 0,585     |
| 90                    | 2,40                    | 3,672  | 1,272     | 3,783    | 1,383     | 3,855    | 1,455     | 3,946    | 1,546     |
| 97                    | 2,75                    | 3,389  | 0,639     | 3,425    | 0,675     | 3,442    | 0,692     | 3,483    | 0,733     |
| 101                   | 2,96                    | 3,485  | 0,525     | 3,508    | 0,548     | 3,515    | 0,555     | 3,544    | 0,584     |
| 103                   | 2,80                    | 3,928  | 1,128     | 4,019    | 1,219     | 4,073    | 1,273     | 4,155    | 1,355     |
| 107                   | 3,19                    | 4,144  | 0,954     | 4,209    | 1,019     | 4,243    | 1,053     | 4,298    | 1,108     |
| 111                   | 3,44                    | 3,798  | 0,358     | 3,802    | 0,362     | 3,792    | 0,352     | 3,796    | 0,356     |
| 115                   | 3,67                    | 4,380  | 0,710     | 4,414    | 0,744     | 4,422    | 0,752     | 4,446    | 0,776     |
| 118                   | 4,27                    | 4,672  | 0,402     | 4,666    | 0,396     | 4,640    | 0,370     | 4,624    | 0,354     |
| 123                   | 2,71                    | 3,537  | 0,827     | 3,592    | 0,882     | 3,622    | 0,912     | 3,663    | 0,953     |
| 127                   | 2,81                    | 3,585  | 0,775     | 3,633    | 0,823     | 3,658    | 0,848     | 3,693    | 0,883     |
| 134                   | 3,08                    | 3,471  | 0,391     | 3,482    | 0,402     | 3,480    | 0,400     | 3,495    | 0,415     |

Tabela A.39 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,381   | 0,033     | 2,393           | 0,021     |
| 6               | 18,506                  | 18,252  | 0,254     | 18,260          | 0,246     |
| 7               | 22,529                  | 22,215  | 0,314     | 22,221          | 0,309     |
| 8               | 27,679                  | 27,508  | 0,171     | 27,506          | 0,173     |
| 9               | 30,093                  | 29,985  | 0,108     | 29,978          | 0,116     |
| 10              | 34,599                  | 34,594  | 0,005     | 34,568          | 0,031     |
| 11              | 37,013                  | 36,957  | 0,056     | 36,922          | 0,091     |

Tabela A.40 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,799   | 0,101     | 0,836           | 0,064     |
| 14              | 2,05                    | 1,848   | 0,202     | 1,861           | 0,189     |
| 16              | 1,84                    | 1,651   | 0,189     | 1,672           | 0,168     |
| 21              | 2,05                    | 1,843   | 0,207     | 1,842           | 0,209     |
| 25              | 1,87                    | 1,673   | 0,197     | 1,691           | 0,179     |
| 27              | 1,96                    | 1,756   | 0,204     | 1,764           | 1,96      |
| 30              | 2,14                    | 1,921   | 0,220     | 1,907           | 0,233     |
| 45              | 2,07                    | 1,851   | 0,219     | 1,814           | 0,256     |
| 48              | 2,10                    | 1,854   | 0,246     | 1,919           | 0,181     |
| 51              | 2,34                    | 2,086   | 0,254     | 2,030           | 0,310     |
| 52              | 2,20                    | 1,962   | 0,239     | 1,964           | 0,236     |
| 55              | 2,42                    | 2,165   | 0,255     | 2,141           | 0,280     |
| 60              | 2,38                    | 2,127   | 0,253     | 2,093           | 0,287     |
| 64              | 2,23                    | 1,975   | 0,255     | 1,954           | 0,276     |
| 67              | 2,30                    | 2,040   | 0,260     | 2,010           | 0,290     |
| 72              | 2,39                    | 2,123   | 0,267     | 2,082           | 0,308     |
| 75              | 2,56                    | 2,279   | 0,282     | 2,216           | 0,344     |
| 76              | 2,22                    | 1,956   | 0,264     | 2,018           | 0,202     |
| 79              | 2,37                    | 2,115   | 0,255     | 2,067           | 0,303     |
| 82              | 2,50                    | 2,225   | 0,275     | 2,162           | 0,338     |
| 85              | 2,58                    | 2,292   | 0,288     | 2,220           | 0,360     |
| 87              | 2,65                    | 2,351   | 0,299     | 2,270           | 0,380     |
| 90              | 2,40                    | 2,108   | 0,292     | 2,162           | 0,238     |
| 97              | 2,75                    | 2,432   | 0,318     | 2,373           | 0,377     |
| 101             | 2,96                    | 2,618   | 0,342     | 2,533           | 0,427     |
| 103             | 2,80                    | 2,442   | 0,359     | 2,471           | 0,329     |
| 107             | 3,19                    | 2,792   | 0,398     | 2,787           | 0,403     |
| 111             | 3,44                    | 3,013   | 0,427     | 2,898           | 0,542     |
| 115             | 3,67                    | 3,184   | 0,486     | 3,139           | 0,531     |
| 118             | 4,27                    | 3,671   | 0,600     | 3,577           | 0,693     |
| 123             | 2,71                    | 2,410   | 0,300     | 2,382           | 0,328     |
| 127             | 2,81                    | 2,500   | 0,311     | 2,460           | 0,350     |
| 134             | 3,08                    | 2,716   | 0,364     | 2,606           | 0,474     |

Tabela A.41 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,381   | 0,033     | 2,382    | 0,032     | 2,383    | 0,032     | 2,383    | 0,031     |
| 6               | 18,506                  | 18,252  | 0,254     | 18,252   | 0,254     | 18,252   | 0,254     | 18,252   | 0,254     |
| 7               | 22,529                  | 22,215  | 0,314     | 22,214   | 0,315     | 22,213   | 0,316     | 22,212   | 0,317     |
| 8               | 27,679                  | 27,508  | 0,171     | 27,505   | 0,174     | 27,503   | 0,176     | 27,500   | 0,179     |
| 9               | 30,093                  | 29,985  | 0,108     | 29,981   | 0,113     | 29,976   | 0,117     | 29,972   | 0,121     |
| 10              | 34,599                  | 34,594  | 0,005     | 34,582   | 0,017     | 34,571   | 0,028     | 34,560   | 0,039     |
| 11              | 37,013                  | 36,957  | 0,056     | 36,941   | 0,072     | 36,925   | 0,088     | 36,909   | 0,104     |

Tabela A.42 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,799   | 0,101     | 0,801    | 0,099     | 0,804    | 0,096     | 0,808    | 0,092     |
| 14              | 2,05                    | 1,848   | 0,202     | 1,848    | 0,202     | 1,848    | 0,202     | 1,849    | 0,201     |
| 16              | 1,84                    | 1,651   | 0,189     | 1,652    | 0,188     | 1,654    | 0,186     | 1,656    | 0,184     |
| 21              | 2,05                    | 1,843   | 0,207     | 1,842    | 0,208     | 1,841    | 0,209     | 1,840    | 0,210     |
| 25              | 1,87                    | 1,673   | 0,197     | 1,674    | 0,196     | 1,676    | 0,195     | 1,678    | 0,192     |
| 27              | 1,96                    | 1,756   | 0,204     | 1,757    | 0,203     | 1,757    | 0,203     | 1,758    | 0,202     |
| 30              | 2,14                    | 1,921   | 0,220     | 1,919    | 0,222     | 1,917    | 0,223     | 1,914    | 0,226     |
| 45              | 2,07                    | 1,851   | 0,219     | 1,848    | 0,222     | 1,845    | 0,225     | 1,842    | 0,228     |
| 48              | 2,10                    | 1,854   | 0,246     | 1,857    | 0,243     | 1,860    | 0,241     | 1,865    | 0,235     |
| 51              | 2,34                    | 2,086   | 0,254     | 2,081    | 0,259     | 2,076    | 0,264     | 2,071    | 0,270     |
| 52              | 2,20                    | 1,962   | 0,239     | 1,961    | 0,239     | 1,961    | 0,239     | 1,961    | 0,239     |
| 55              | 2,42                    | 2,165   | 0,255     | 2,161    | 0,259     | 2,158    | 0,262     | 2,154    | 0,266     |
| 60              | 2,38                    | 2,127   | 0,253     | 2,123    | 0,257     | 2,120    | 0,261     | 2,115    | 0,265     |
| 64              | 2,23                    | 1,975   | 0,255     | 1,973    | 0,257     | 1,971    | 0,259     | 1,970    | 0,260     |
| 67              | 2,30                    | 2,040   | 0,260     | 2,037    | 0,263     | 2,034    | 0,266     | 2,032    | 0,268     |
| 72              | 2,39                    | 2,123   | 0,267     | 2,119    | 0,271     | 2,115    | 0,275     | 2,111    | 0,279     |
| 75              | 2,56                    | 2,279   | 0,282     | 2,272    | 0,288     | 2,265    | 0,295     | 2,257    | 0,303     |
| 76              | 2,22                    | 1,956   | 0,264     | 1,959    | 0,261     | 1,961    | 0,259     | 1,966    | 0,254     |
| 79              | 2,37                    | 2,115   | 0,255     | 2,111    | 0,259     | 2,107    | 0,264     | 2,102    | 0,268     |
| 82              | 2,50                    | 2,225   | 0,275     | 2,219    | 0,281     | 2,214    | 0,286     | 2,207    | 0,293     |
| 85              | 2,58                    | 2,292   | 0,288     | 2,285    | 0,295     | 2,279    | 0,301     | 2,271    | 0,309     |
| 87              | 2,65                    | 2,351   | 0,299     | 2,343    | 0,307     | 2,335    | 0,315     | 2,326    | 0,324     |
| 90              | 2,40                    | 2,108   | 0,292     | 2,109    | 0,291     | 2,110    | 0,290     | 2,114    | 0,286     |
| 97              | 2,75                    | 2,432   | 0,318     | 2,425    | 0,325     | 2,418    | 0,332     | 2,412    | 0,338     |
| 101             | 2,96                    | 2,618   | 0,342     | 2,607    | 0,354     | 2,596    | 0,365     | 2,585    | 0,375     |
| 103             | 2,80                    | 2,442   | 0,359     | 2,438    | 0,362     | 2,435    | 0,365     | 2,434    | 0,366     |
| 107             | 3,19                    | 2,792   | 0,398     | 2,782    | 0,408     | 2,772    | 0,418     | 2,763    | 0,427     |
| 111             | 3,44                    | 3,013   | 0,427     | 2,993    | 0,447     | 2,973    | 0,467     | 2,950    | 0,490     |
| 115             | 3,67                    | 3,184   | 0,486     | 3,164    | 0,506     | 3,144    | 0,526     | 3,121    | 0,549     |
| 118             | 4,27                    | 3,671   | 0,600     | 3,630    | 0,640     | 3,590    | 0,680     | 3,542    | 0,728     |
| 123             | 2,71                    | 2,410   | 0,300     | 2,405    | 0,305     | 2,399    | 0,311     | 2,394    | 0,316     |
| 127             | 2,81                    | 2,500   | 0,311     | 2,492    | 0,318     | 2,484    | 0,326     | 2,477    | 0,333     |
| 134             | 3,08                    | 2,716   | 0,364     | 2,702    | 0,378     | 2,688    | 0,392     | 2,674    | 0,407     |

Tabela A.43 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,393   | 0,021     | 2,396    | 0,018     | 2,399    | 0,015     | 2,402    | 0,012     |
| 6               | 18,506                  | 18,260  | 0,246     | 18,263   | 0,243     | 18,267   | 0,239     | 18,270   | 0,236     |
| 7               | 22,529                  | 22,221  | 0,309     | 22,222   | 0,307     | 22,225   | 0,304     | 22,227   | 0,302     |
| 8               | 27,679                  | 27,506  | 0,173     | 27,505   | 0,174     | 27,505   | 0,174     | 27,504   | 0,175     |
| 9               | 30,093                  | 29,978  | 0,116     | 29,974   | 0,119     | 29,971   | 0,122     | 29,968   | 0,125     |
| 10              | 34,599                  | 34,568  | 0,031     | 34,555   | 0,044     | 34,542   | 0,057     | 34,529   | 0,070     |
| 11              | 37,013                  | 36,922  | 0,091     | 36,903   | 0,110     | 36,883   | 0,130     | 36,864   | 0,150     |

Tabela A.44 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,836   | 0,064     | 0,847    | 0,053     | 0,857    | 0,043     | 0,873    | 0,027     |
| 14              | 2,05                    | 1,861   | 0,189     | 1,865    | 0,185     | 1,869    | 0,182     | 1,876    | 0,174     |
| 16              | 1,84                    | 1,672   | 0,168     | 1,679    | 0,161     | 1,685    | 0,155     | 1,697    | 0,144     |
| 21              | 2,05                    | 1,842   | 0,209     | 1,841    | 0,209     | 1,842    | 0,209     | 1,844    | 0,206     |
| 25              | 1,87                    | 1,691   | 0,179     | 1,697    | 0,173     | 1,703    | 0,167     | 1,712    | 0,158     |
| 27              | 1,96                    | 1,764   | 0,196     | 1,767    | 0,193     | 1,77     | 0,190     | 1,776    | 0,184     |
| 30              | 2,14                    | 1,907   | 0,233     | 1,904    | 0,236     | 1,901    | 0,239     | 1,900    | 0,240     |
| 45              | 2,07                    | 1,814   | 0,256     | 1,806    | 0,264     | 1,798    | 0,272     | 1,790    | 0,280     |
| 48              | 2,10                    | 1,919   | 0,181     | 1,936    | 0,164     | 1,952    | 0,148     | 1,980    | 0,120     |
| 51              | 2,34                    | 2,030   | 0,310     | 2,016    | 0,324     | 2,004    | 0,336     | 1,991    | 0,350     |
| 52              | 2,20                    | 1,964   | 0,236     | 1,965    | 0,235     | 1,966    | 0,234     | 1,972    | 0,228     |
| 55              | 2,42                    | 2,141   | 0,280     | 2,134    | 0,286     | 2,128    | 0,292     | 2,123    | 0,297     |
| 60              | 2,38                    | 2,093   | 0,287     | 2,084    | 0,296     | 2,076    | 0,304     | 2,069    | 0,311     |
| 64              | 2,23                    | 1,954   | 0,276     | 1,949    | 0,281     | 1,945    | 0,285     | 1,944    | 0,286     |
| 67              | 2,30                    | 2,010   | 0,290     | 2,003    | 0,297     | 1,997    | 0,303     | 1,993    | 0,307     |
| 72              | 2,39                    | 2,082   | 0,308     | 2,072    | 0,318     | 2,063    | 0,328     | 2,054    | 0,336     |
| 75              | 2,56                    | 2,216   | 0,344     | 2,200    | 0,361     | 2,184    | 0,376     | 2,168    | 0,392     |
| 76              | 2,22                    | 2,018   | 0,202     | 2,034    | 0,186     | 2,049    | 0,171     | 2,077    | 0,143     |
| 79              | 2,37                    | 2,067   | 0,303     | 2,055    | 0,315     | 2,044    | 0,326     | 2,035    | 0,335     |
| 82              | 2,50                    | 2,162   | 0,338     | 2,146    | 0,354     | 2,132    | 0,368     | 2,117    | 0,383     |
| 85              | 2,58                    | 2,220   | 0,360     | 2,201    | 0,379     | 2,184    | 0,396     | 2,166    | 0,414     |
| 87              | 2,65                    | 2,270   | 0,380     | 2,249    | 0,401     | 2,230    | 0,420     | 2,209    | 0,441     |
| 90              | 2,40                    | 2,162   | 0,238     | 2,175    | 0,225     | 2,187    | 0,213     | 2,213    | 0,187     |
| 97              | 2,75                    | 2,373   | 0,377     | 2,356    | 0,394     | 2,341    | 0,409     | 2,333    | 0,417     |
| 101             | 2,96                    | 2,533   | 0,427     | 2,508    | 0,452     | 2,486    | 0,474     | 2,467    | 0,493     |
| 103             | 2,80                    | 2,471   | 0,329     | 2,475    | 0,325     | 2,478    | 0,322     | 2,497    | 0,303     |
| 107             | 3,19                    | 2,787   | 0,403     | 2,778    | 0,412     | 2,769    | 0,421     | 2,771    | 0,419     |
| 111             | 3,44                    | 2,898   | 0,542     | 2,860    | 0,580     | 2,824    | 0,616     | 2,788    | 0,652     |
| 115             | 3,67                    | 3,139   | 0,531     | 3,113    | 0,557     | 3,088    | 0,582     | 3,067    | 0,603     |
| 118             | 4,27                    | 3,577   | 0,693     | 3,523    | 0,747     | 3,474    | 0,796     | 3,421    | 0,849     |
| 123             | 2,71                    | 2,382   | 0,328     | 2,372    | 0,338     | 2,364    | 0,347     | 2,360    | 0,350     |
| 127             | 2,81                    | 2,460   | 0,350     | 2,446    | 0,364     | 2,434    | 0,376     | 2,426    | 0,384     |
| 134             | 3,08                    | 2,606   | 0,474     | 2,574    | 0,506     | 2,545    | 0,535     | 2,517    | 0,563     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 5 – MÉTODO DE NOVOSEL

Tabela A.45 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,425                             | 0,011     | 2,425    | 0,011     | 2,407           | 0,007     |
| 6               | 18,506                  | 18,408                            | 0,098     | 18,398   | 0,108     | 18,076          | 0,430     |
| 7               | 22,529                  | 22,401                            | 0,128     | 22,388   | 0,141     | 23,294          | 0,765     |
| 8               | 27,679                  | 27,644                            | 0,035     | 27,632   | 0,047     | 30,061          | 2,382     |
| 9               | 30,093                  | 30,091                            | 0,002     | 30,079   | 0,014     | 33,218          | 3,125     |
| 10              | 34,599                  | 34,630                            | 0,031     | 34,619   | 0,020     | 39,075          | 4,476     |
| 11              | 37,013                  | 36,993                            | 0,020     | 36,981   | 0,032     | 42,162          | 5,149     |
| 13              | 30,093                  | 29,880                            | 0,213     | 29,680   | 0,413     | 32,057          | 1,964     |
| 14              | 32,507                  | 32,152                            | 0,355     | 31,889   | 0,618     | 33,579          | 1,072     |
| 17              | 34,921                  | 34,163                            | 0,758     | 33,756   | 1,165     | 35,031          | 0,110     |

Tabela A.46 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,061                             | 0,161     | 1,056    | 0,156     | 0,989           | 0,089     |
| 14              | 2,05                    | 2,248                             | 0,198     | 2,240    | 0,190     | 1,870           | 0,180     |
| 16              | 1,84                    | 2,023                             | 0,183     | 2,015    | 0,175     | 1,807           | 0,033     |
| 21              | 2,05                    | 2,236                             | 0,186     | 2,229    | 0,179     | 2,050           | 0,000     |
| 25              | 1,87                    | 2,047                             | 0,177     | 2,037    | 0,167     | 1,912           | 0,042     |
| 27              | 1,96                    | 2,139                             | 0,179     | 2,13     | 0,170     | 2,017           | 0,057     |
| 30              | 2,14                    | 2,320                             | 0,180     | 2,312    | 0,172     | 2,225           | 0,085     |
| 45              | 2,07                    | 2,227                             | 0,157     | 2,219    | 0,149     | 2,127           | 0,057     |
| 48              | 2,10                    | 2,283                             | 0,183     | 2,271    | 0,171     | 2,186           | 0,086     |
| 51              | 2,34                    | 2,493                             | 0,153     | 2,484    | 0,144     | 2,435           | 0,095     |
| 52              | 2,20                    | 2,373                             | 0,173     | 2,362    | 0,162     | 2,292           | 0,092     |
| 55              | 2,42                    | 2,600                             | 0,180     | 2,591    | 0,171     | 2,548           | 0,128     |
| 60              | 2,38                    | 2,551                             | 0,171     | 2,542    | 0,162     | 2,495           | 0,115     |
| 64              | 2,23                    | 2,382                             | 0,152     | 2,371    | 0,141     | 2,306           | 0,076     |
| 67              | 2,30                    | 2,453                             | 0,153     | 2,442    | 0,142     | 2,388           | 0,088     |
| 72              | 2,39                    | 2,544                             | 0,154     | 2,534    | 0,144     | 2,492           | 0,102     |
| 75              | 2,56                    | 2,713                             | 0,153     | 2,705    | 0,145     | 2,689           | 0,129     |
| 76              | 2,22                    | 2,401                             | 0,181     | 2,389    | 0,169     | 2,324           | 0,104     |
| 79              | 2,37                    | 2,526                             | 0,156     | 2,515    | 0,145     | 2,471           | 0,101     |
| 82              | 2,50                    | 2,651                             | 0,151     | 2,641    | 0,141     | 2,617           | 0,117     |
| 85              | 2,58                    | 2,728                             | 0,148     | 2,718    | 0,138     | 2,706           | 0,126     |
| 87              | 2,65                    | 2,794                             | 0,144     | 2,785    | 0,135     | 2,784           | 0,134     |
| 90              | 2,40                    | 2,576                             | 0,176     | 2,564    | 0,164     | 2,526           | 0,126     |
| 97              | 2,75                    | 2,899                             | 0,149     | 2,885    | 0,135     | 2,899           | 0,149     |
| 101             | 2,96                    | 3,106                             | 0,146     | 3,094    | 0,134     | 3,137           | 0,177     |
| 103             | 2,80                    | 2,958                             | 0,158     | 2,944    | 0,144     | 2,969           | 0,169     |
| 107             | 3,19                    | 3,341                             | 0,151     | 3,323    | 0,133     | 3,405           | 0,215     |
| 111             | 3,44                    | 3,560                             | 0,120     | 3,543    | 0,103     | 3,653           | 0,213     |
| 115             | 3,67                    | 3,789                             | 0,119     | 3,765    | 0,095     | 3,911           | 0,241     |
| 118             | 4,27                    | 4,347                             | 0,077     | 4,309    | 0,039     | 4,516           | 0,246     |
| 123             | 2,71                    | 2,885                             | 0,175     | 2,875    | 0,165     | 2,877           | 0,167     |
| 127             | 2,81                    | 2,985                             | 0,175     | 2,976    | 0,166     | 2,991           | 0,181     |
| 134             | 3,08                    | 3,209                             | 0,129     | 3,197    | 0,117     | 3,260           | 0,180     |

Tabela A.47 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,407   | 0,007     | 2,477            | 0,063     | 2,644            | 0,230     | 2,892            | 0,478     |
| 6                     | 18,506                  | 18,076  | 0,430     | 17,047           | 1,459     | 15,861           | 2,645     | 14,871           | 3,635     |
| 7                     | 22,529                  | 23,294  | 0,765     | 22,238           | 0,291     | 21,018           | 1,511     | 19,997           | 2,532     |
| 8                     | 27,679                  | 30,061  | 2,382     | 28,962           | 1,283     | 27,691           | 0,012     | 26,621           | 1,058     |
| 9                     | 30,093                  | 33,218  | 3,125     | 32,074           | 1,981     | 30,746           | 0,653     | 29,621           | 0,472     |
| 10                    | 34,599                  | 39,075  | 4,476     | 37,842           | 3,243     | 36,401           | 1,802     | 35,168           | 0,569     |
| 11                    | 37,013                  | 42,162  | 5,149     | 40,878           | 3,865     | 39,372           | 2,359     | 38,079           | 1,066     |
| 13                    | 30,093                  | 32,057  | 1,964     | 30,761           | 0,668     | 29,266           | 0,827     | 28,010           | 2,083     |
| 14                    | 32,507                  | 33,579  | 1,072     | 32,378           | 0,129     | 30,995           | 1,512     | 29,834           | 2,673     |
| 17                    | 34,921                  | 35,031  | 0,110     | 33,796           | 1,125     | 32,379           | 2,543     | 31,194           | 3,727     |

Tabela A.48 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 0,989   | 0,089     | 1,224            | 0,324     | 1,426            | 0,526     | 1,560            | 0,660     |
| 14                    | 2,05                    | 1,870   | 0,180     | 1,402            | 0,648     | 1,014            | 1,036     | 0,763            | 1,287     |
| 16                    | 1,84                    | 1,807   | 0,033     | 1,706            | 0,134     | 1,623            | 0,217     | 1,571            | 0,269     |
| 21                    | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 1,896            | 0,154     | 1,771            | 0,280     | 1,691            | 0,359     |
| 25                    | 1,87                    | 1,912   | 0,042     | 1,933            | 0,063     | 1,949            | 0,079     | 1,959            | 0,089     |
| 27                    | 1,96                    | 2,017   | 0,057     | 2,014            | 0,054     | 2,011            | 0,051     | 2,009            | 0,049     |
| 30                    | 2,14                    | 2,225   | 0,085     | 2,175            | 0,035     | 2,135            | 0,005     | 2,110            | 0,030     |
| 45                    | 2,07                    | 2,127   | 0,057     | 2,049            | 0,021     | 1,991            | 0,079     | 1,956            | 0,114     |
| 48                    | 2,10                    | 2,186   | 0,086     | 2,282            | 0,182     | 2,360            | 0,260     | 2,411            | 0,311     |
| 51                    | 2,34                    | 2,435   | 0,095     | 2,313            | 0,027     | 2,221            | 0,119     | 2,167            | 0,173     |
| 52                    | 2,20                    | 2,292   | 0,092     | 2,275            | 0,075     | 2,260            | 0,060     | 2,251            | 0,051     |
| 55                    | 2,42                    | 2,548   | 0,128     | 2,471            | 0,051     | 2,409            | 0,011     | 2,371            | 0,049     |
| 60                    | 2,38                    | 2,495   | 0,115     | 2,404            | 0,024     | 2,334            | 0,046     | 2,291            | 0,089     |
| 64                    | 2,23                    | 2,306   | 0,076     | 2,250            | 0,020     | 2,207            | 0,023     | 2,181            | 0,049     |
| 67                    | 2,30                    | 2,388   | 0,088     | 2,313            | 0,013     | 2,255            | 0,045     | 2,221            | 0,079     |
| 72                    | 2,39                    | 2,492   | 0,102     | 2,392            | 0,002     | 2,316            | 0,074     | 2,270            | 0,120     |
| 75                    | 2,56                    | 2,689   | 0,129     | 2,541            | 0,019     | 2,429            | 0,132     | 2,361            | 0,199     |
| 76                    | 2,22                    | 2,324   | 0,104     | 2,409            | 0,189     | 2,478            | 0,258     | 2,522            | 0,302     |
| 79                    | 2,37                    | 2,471   | 0,101     | 2,365            | 0,006     | 2,285            | 0,085     | 2,238            | 0,132     |
| 82                    | 2,50                    | 2,617   | 0,117     | 2,476            | 0,024     | 2,371            | 0,129     | 2,309            | 0,191     |
| 85                    | 2,58                    | 2,706   | 0,126     | 2,544            | 0,036     | 2,423            | 0,157     | 2,351            | 0,229     |
| 87                    | 2,65                    | 2,784   | 0,134     | 2,602            | 0,048     | 2,467            | 0,184     | 2,386            | 0,264     |
| 90                    | 2,40                    | 2,526   | 0,126     | 2,586            | 0,186     | 2,635            | 0,235     | 2,666            | 0,266     |
| 97                    | 2,75                    | 2,899   | 0,149     | 2,745            | 0,005     | 2,627            | 0,123     | 2,556            | 0,194     |
| 101                   | 2,96                    | 3,137   | 0,177     | 2,925            | 0,035     | 2,764            | 0,196     | 2,666            | 0,294     |
| 103                   | 2,80                    | 2,969   | 0,169     | 2,959            | 0,159     | 2,950            | 0,150     | 2,943            | 0,143     |
| 107                   | 3,19                    | 3,405   | 0,215     | 3,303            | 0,113     | 3,216            | 0,026     | 3,159            | 0,031     |
| 111                   | 3,44                    | 3,653   | 0,213     | 3,346            | 0,094     | 3,108            | 0,332     | 2,962            | 0,478     |
| 115                   | 3,67                    | 3,911   | 0,241     | 3,690            | 0,020     | 3,504            | 0,166     | 3,383            | 0,287     |
| 118                   | 4,27                    | 4,516   | 0,246     | 4,139            | 0,132     | 3,818            | 0,452     | 3,608            | 0,662     |
| 123                   | 2,71                    | 2,877   | 0,167     | 2,777            | 0,067     | 2,696            | 0,014     | 2,646            | 0,065     |
| 127                   | 2,81                    | 2,991   | 0,181     | 2,864            | 0,054     | 2,763            | 0,047     | 2,700            | 0,110     |
| 134                   | 3,08                    | 3,260   | 0,180     | 2,997            | 0,083     | 2,800            | 0,280     | 2,682            | 0,398     |

Tabela A.49 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,407   | 0,007     | 2,411    | 0,003     | 2,415    | 0,001     | 2,419    | 0,005     |
| 6               | 18,506                  | 18,076  | 0,430     | 18,087   | 0,419     | 18,102   | 0,404     | 18,115   | 0,391     |
| 7               | 22,529                  | 23,294  | 0,765     | 23,304   | 0,775     | 23,321   | 0,792     | 23,335   | 0,806     |
| 8               | 27,679                  | 30,061  | 2,382     | 30,071   | 2,392     | 30,089   | 2,410     | 30,103   | 2,424     |
| 9               | 30,093                  | 33,218  | 3,125     | 33,224   | 3,131     | 33,240   | 3,147     | 33,250   | 3,157     |
| 10              | 34,599                  | 39,075  | 4,476     | 39,065   | 4,466     | 39,068   | 4,469     | 39,065   | 4,466     |
| 11              | 37,013                  | 42,162  | 5,149     | 42,141   | 5,128     | 42,134   | 5,121     | 42,121   | 5,108     |
| 13              | 30,093                  | 32,057  | 1,964     | 31,974   | 1,881     | 31,970   | 1,877     | 31,928   | 1,835     |
| 14              | 32,507                  | 33,579  | 1,072     | 33,485   | 0,978     | 33,558   | 1,051     | 33,547   | 1,040     |
| 17              | 34,921                  | 35,031  | 0,110     | 34,860   | 0,061     | 34,984   | 0,063     | 34,959   | 0,038     |

Tabela A.50 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,989   | 0,089     | 1,024    | 0,124     | 1,058    | 0,158     | 1,107    | 0,207     |
| 14              | 2,05                    | 1,870   | 0,180     | 1,920    | 0,130     | 1,967    | 0,083     | 2,035    | 0,015     |
| 16              | 1,84                    | 1,807   | 0,033     | 1,852    | 0,012     | 1,894    | 0,054     | 1,955    | 0,115     |
| 21              | 2,05                    | 2,050   | 0,000     | 2,092    | 0,042     | 2,131    | 0,081     | 2,186    | 0,136     |
| 25              | 1,87                    | 1,912   | 0,042     | 1,954    | 0,084     | 1,993    | 0,123     | 2,050    | 0,180     |
| 27              | 1,96                    | 2,017   | 0,057     | 2,058    | 0,098     | 2,096    | 0,136     | 2,151    | 0,191     |
| 30              | 2,14                    | 2,225   | 0,085     | 2,263    | 0,123     | 2,298    | 0,158     | 2,348    | 0,208     |
| 45              | 2,07                    | 2,127   | 0,057     | 2,161    | 0,091     | 2,193    | 0,123     | 2,238    | 0,168     |
| 48              | 2,10                    | 2,186   | 0,086     | 2,234    | 0,134     | 2,278    | 0,178     | 2,345    | 0,245     |
| 51              | 2,34                    | 2,435   | 0,095     | 2,466    | 0,126     | 2,495    | 0,155     | 2,537    | 0,197     |
| 52              | 2,20                    | 2,292   | 0,092     | 2,332    | 0,132     | 2,368    | 0,168     | 2,423    | 0,223     |
| 55              | 2,42                    | 2,548   | 0,128     | 2,584    | 0,164     | 2,618    | 0,198     | 2,667    | 0,247     |
| 60              | 2,38                    | 2,495   | 0,115     | 2,530    | 0,150     | 2,562    | 0,182     | 2,609    | 0,229     |
| 64              | 2,23                    | 2,306   | 0,076     | 2,341    | 0,111     | 2,375    | 0,145     | 2,424    | 0,194     |
| 67              | 2,30                    | 2,388   | 0,088     | 2,422    | 0,122     | 2,454    | 0,154     | 2,502    | 0,202     |
| 72              | 2,39                    | 2,492   | 0,102     | 2,525    | 0,135     | 2,556    | 0,166     | 2,601    | 0,211     |
| 75              | 2,56                    | 2,689   | 0,129     | 2,719    | 0,159     | 2,745    | 0,185     | 2,784    | 0,224     |
| 76              | 2,22                    | 2,324   | 0,104     | 2,370    | 0,150     | 2,414    | 0,194     | 2,480    | 0,260     |
| 79              | 2,37                    | 2,471   | 0,101     | 2,504    | 0,134     | 2,533    | 0,163     | 2,578    | 0,208     |
| 82              | 2,50                    | 2,617   | 0,117     | 2,647    | 0,147     | 2,675    | 0,175     | 2,716    | 0,216     |
| 85              | 2,58                    | 2,706   | 0,126     | 2,735    | 0,155     | 2,761    | 0,181     | 2,800    | 0,220     |
| 87              | 2,65                    | 2,784   | 0,134     | 2,811    | 0,161     | 2,836    | 0,186     | 2,872    | 0,222     |
| 90              | 2,40                    | 2,526   | 0,126     | 2,571    | 0,171     | 2,612    | 0,212     | 2,677    | 0,277     |
| 97              | 2,75                    | 2,899   | 0,149     | 2,928    | 0,178     | 2,955    | 0,205     | 2,997    | 0,247     |
| 101             | 2,96                    | 3,137   | 0,177     | 3,162    | 0,202     | 3,183    | 0,223     | 3,219    | 0,259     |
| 103             | 2,80                    | 2,969   | 0,169     | 3,007    | 0,207     | 3,042    | 0,242     | 3,099    | 0,299     |
| 107             | 3,19                    | 3,405   | 0,215     | 3,435    | 0,245     | 3,461    | 0,271     | 3,505    | 0,315     |
| 111             | 3,44                    | 3,653   | 0,213     | 3,667    | 0,227     | 3,677    | 0,237     | 3,698    | 0,258     |
| 115             | 3,67                    | 3,911   | 0,241     | 3,927    | 0,257     | 3,939    | 0,269     | 3,964    | 0,294     |
| 118             | 4,27                    | 4,516   | 0,246     | 4,511    | 0,241     | 4,501    | 0,231     | 4,496    | 0,226     |
| 123             | 2,71                    | 2,877   | 0,167     | 2,912    | 0,202     | 2,943    | 0,233     | 2,991    | 0,281     |
| 127             | 2,81                    | 2,991   | 0,181     | 3,023    | 0,213     | 3,052    | 0,242     | 3,096    | 0,286     |
| 134             | 3,08                    | 3,260   | 0,180     | 3,280    | 0,200     | 3,297    | 0,217     | 3,326    | 0,246     |

Tabela A.51 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,381                             | 0,033     | 2,376    | 0,038     | 2,375           | 0,039     |
| 6               | 18,506                  | 18,252                            | 0,254     | 18,243   | 0,263     | 18,204          | 0,302     |
| 7               | 22,529                  | 22,215                            | 0,314     | 22,205   | 0,324     | 22,727          | 0,198     |
| 8               | 27,679                  | 27,508                            | 0,171     | 27,497   | 0,182     | 28,724          | 1,045     |
| 9               | 30,093                  | 29,985                            | 0,108     | 29,973   | 0,120     | 31,530          | 1,437     |
| 10              | 34,599                  | 34,594                            | 0,005     | 34,580   | 0,019     | 36,753          | 2,154     |
| 11              | 37,013                  | 36,957                            | 0,056     | 36,942   | 0,071     | 39,448          | 2,435     |

Tabela A.52 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,799                             | 0,101     | 0,797    | 0,103     | 0,769           | 0,131     |
| 14              | 2,05                    | 1,848                             | 0,202     | 1,845    | 0,206     | 1,693           | 0,358     |
| 16              | 1,84                    | 1,651                             | 0,189     | 1,647    | 0,193     | 1,556           | 0,284     |
| 21              | 2,05                    | 1,843                             | 0,207     | 1,840    | 0,210     | 1,759           | 0,292     |
| 25              | 1,87                    | 1,673                             | 0,197     | 1,669    | 0,201     | 1,617           | 0,253     |
| 27              | 1,96                    | 1,756                             | 0,204     | 1,753    | 0,207     | 1,706           | 0,254     |
| 30              | 2,14                    | 1,921                             | 0,220     | 1,917    | 0,223     | 1,884           | 0,256     |
| 45              | 2,07                    | 1,851                             | 0,219     | 1,848    | 0,223     | 1,822           | 0,248     |
| 48              | 2,10                    | 1,854                             | 0,246     | 1,849    | 0,251     | 1,827           | 0,273     |
| 51              | 2,34                    | 2,086                             | 0,254     | 2,082    | 0,258     | 2,086           | 0,254     |
| 52              | 2,20                    | 1,962                             | 0,239     | 1,957    | 0,243     | 1,946           | 0,255     |
| 55              | 2,42                    | 2,165                             | 0,255     | 2,161    | 0,259     | 2,158           | 0,262     |
| 60              | 2,38                    | 2,127                             | 0,253     | 2,123    | 0,257     | 2,122           | 0,258     |
| 64              | 2,23                    | 1,975                             | 0,255     | 1,970    | 0,260     | 1,962           | 0,268     |
| 67              | 2,30                    | 2,040                             | 0,260     | 2,035    | 0,265     | 2,034           | 0,266     |
| 72              | 2,39                    | 2,123                             | 0,267     | 2,119    | 0,271     | 2,126           | 0,264     |
| 75              | 2,56                    | 2,279                             | 0,282     | 2,275    | 0,285     | 2,299           | 0,261     |
| 76              | 2,22                    | 1,956                             | 0,264     | 1,951    | 0,269     | 1,942           | 0,278     |
| 79              | 2,37                    | 2,115                             | 0,255     | 2,110    | 0,260     | 2,117           | 0,253     |
| 82              | 2,50                    | 2,225                             | 0,275     | 2,221    | 0,279     | 2,242           | 0,258     |
| 85              | 2,58                    | 2,292                             | 0,288     | 2,289    | 0,291     | 2,318           | 0,262     |
| 87              | 2,65                    | 2,351                             | 0,299     | 2,348    | 0,302     | 2,385           | 0,266     |
| 90              | 2,40                    | 2,108                             | 0,292     | 2,103    | 0,297     | 2,113           | 0,287     |
| 97              | 2,75                    | 2,432                             | 0,318     | 2,426    | 0,324     | 2,472           | 0,278     |
| 101             | 2,96                    | 2,618                             | 0,342     | 2,612    | 0,348     | 2,673           | 0,288     |
| 103             | 2,80                    | 2,442                             | 0,359     | 2,435    | 0,365     | 2,488           | 0,313     |
| 107             | 3,19                    | 2,792                             | 0,398     | 2,784    | 0,406     | 2,873           | 0,318     |
| 111             | 3,44                    | 3,013                             | 0,427     | 3,005    | 0,435     | 3,107           | 0,333     |
| 115             | 3,67                    | 3,184                             | 0,486     | 3,174    | 0,496     | 3,296           | 0,374     |
| 118             | 4,27                    | 3,671                             | 0,600     | 3,655    | 0,615     | 3,792           | 0,478     |
| 123             | 2,71                    | 2,410                             | 0,300     | 2,405    | 0,305     | 2,433           | 0,277     |
| 127             | 2,81                    | 2,500                             | 0,311     | 2,494    | 0,316     | 2,526           | 0,284     |
| 134             | 3,08                    | 2,716                             | 0,364     | 2,711    | 0,369     | 2,790           | 0,291     |

Tabela A.53 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,375   | 0,039     | 2,361           | 0,053     |
| 6               | 18,506                  | 18,204  | 0,302     | 18,016          | 0,490     |
| 7               | 22,529                  | 22,727  | 0,198     | 22,531          | 0,002     |
| 8               | 27,679                  | 28,724  | 1,045     | 28,512          | 0,833     |
| 9               | 30,093                  | 31,530  | 1,437     | 31,309          | 1,216     |
| 10              | 34,599                  | 36,753  | 2,154     | 36,504          | 1,905     |
| 11              | 37,013                  | 39,448  | 2,435     | 39,187          | 2,174     |

Tabela A.54 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,769   | 0,131     | 0,702           | 0,198     |
| 14              | 2,05                    | 1,693   | 0,358     | 1,173           | 0,877     |
| 16              | 1,84                    | 1,556   | 0,284     | 1,259           | 0,581     |
| 21              | 2,05                    | 1,759   | 0,292     | 1,439           | 0,611     |
| 25              | 1,87                    | 1,617   | 0,253     | 1,400           | 0,470     |
| 27              | 1,96                    | 1,706   | 0,254     | 1,478           | 0,482     |
| 30              | 2,14                    | 1,884   | 0,256     | 1,634           | 0,506     |
| 45              | 2,07                    | 1,822   | 0,248     | 1,553           | 0,517     |
| 48              | 2,10                    | 1,827   | 0,273     | 1,645           | 0,455     |
| 51              | 2,34                    | 2,086   | 0,254     | 1,794           | 0,546     |
| 52              | 2,20                    | 1,946   | 0,255     | 1,707           | 0,493     |
| 55              | 2,42                    | 2,158   | 0,262     | 1,894           | 0,526     |
| 60              | 2,38                    | 2,122   | 0,258     | 1,849           | 0,531     |
| 64              | 2,23                    | 1,962   | 0,268     | 1,706           | 0,524     |
| 67              | 2,30                    | 2,034   | 0,266     | 1,769           | 0,531     |
| 72              | 2,39                    | 2,126   | 0,264     | 1,849           | 0,541     |
| 75              | 2,56                    | 2,299   | 0,261     | 1,998           | 0,562     |
| 76              | 2,22                    | 1,942   | 0,278     | 1,756           | 0,465     |
| 79              | 2,37                    | 2,117   | 0,253     | 1,832           | 0,538     |
| 82              | 2,50                    | 2,242   | 0,258     | 1,940           | 0,560     |
| 85              | 2,58                    | 2,318   | 0,262     | 2,005           | 0,575     |
| 87              | 2,65                    | 2,385   | 0,266     | 2,062           | 0,588     |
| 90              | 2,40                    | 2,113   | 0,287     | 1,915           | 0,485     |
| 97              | 2,75                    | 2,472   | 0,278     | 2,165           | 0,585     |
| 101             | 2,96                    | 2,673   | 0,288     | 2,340           | 0,620     |
| 103             | 2,80                    | 2,488   | 0,313     | 2,257           | 0,543     |
| 107             | 3,19                    | 2,873   | 0,318     | 2,598           | 0,592     |
| 111             | 3,44                    | 3,107   | 0,333     | 2,732           | 0,708     |
| 115             | 3,67                    | 3,296   | 0,374     | 2,969           | 0,701     |
| 118             | 4,27                    | 3,792   | 0,478     | 3,398           | 0,872     |
| 123             | 2,71                    | 2,433   | 0,277     | 2,158           | 0,552     |
| 127             | 2,81                    | 2,526   | 0,284     | 2,240           | 0,570     |
| 134             | 3,08                    | 2,790   | 0,291     | 2,430           | 0,650     |

Tabela A.55 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,375   | 0,039     | 2,375    | 0,039     | 2,376    | 0,038     | 2,376    | 0,038     |
| 6               | 18,506                  | 18,204  | 0,302     | 18,204   | 0,302     | 18,204   | 0,302     | 18,204   | 0,302     |
| 7               | 22,529                  | 22,727  | 0,198     | 22,725   | 0,196     | 22,724   | 0,195     | 22,723   | 0,194     |
| 8               | 27,679                  | 28,724  | 1,045     | 28,721   | 1,042     | 28,718   | 1,039     | 28,715   | 1,036     |
| 9               | 30,093                  | 31,530  | 1,437     | 31,526   | 1,433     | 31,521   | 1,428     | 31,516   | 1,423     |
| 10              | 34,599                  | 36,753  | 2,154     | 36,740   | 2,141     | 36,727   | 2,128     | 36,715   | 2,116     |
| 11              | 37,013                  | 39,448  | 2,435     | 39,430   | 2,417     | 39,412   | 2,399     | 39,394   | 2,381     |

Tabela A.56 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Novosel para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,769   | 0,131     | 0,771    | 0,129     | 0,773    | 0,127     | 1,754    | 0,854     |
| 14              | 2,05                    | 1,693   | 0,358     | 1,695    | 0,355     | 1,698    | 0,353     | 1,906    | 0,144     |
| 16              | 1,84                    | 1,556   | 0,284     | 1,559    | 0,281     | 1,562    | 0,279     | 1,903    | 0,063     |
| 21              | 2,05                    | 1,759   | 0,292     | 1,759    | 0,292     | 1,759    | 0,291     | 1,889    | 0,162     |
| 25              | 1,87                    | 1,617   | 0,253     | 1,619    | 0,252     | 1,620    | 0,250     | 1,885    | 0,015     |
| 27              | 1,96                    | 1,706   | 0,254     | 1,707    | 0,253     | 1,708    | 0,252     | 1,883    | 0,077     |
| 30              | 2,14                    | 1,884   | 0,256     | 1,883    | 0,258     | 1,881    | 0,259     | 1,880    | 0,260     |
| 45              | 2,07                    | 1,822   | 0,248     | 1,819    | 0,251     | 1,817    | 0,253     | 1,871    | 0,199     |
| 48              | 2,10                    | 1,827   | 0,273     | 1,830    | 0,270     | 1,834    | 0,266     | 2,000    | 0,100     |
| 51              | 2,34                    | 2,086   | 0,254     | 2,081    | 0,259     | 2,077    | 0,263     | 1,869    | 0,471     |
| 52              | 2,20                    | 1,946   | 0,255     | 1,945    | 0,255     | 1,945    | 0,255     | 1,885    | 0,315     |
| 55              | 2,42                    | 2,158   | 0,262     | 2,154    | 0,266     | 2,151    | 0,269     | 1,883    | 0,537     |
| 60              | 2,38                    | 2,122   | 0,258     | 2,118    | 0,262     | 2,114    | 0,266     | 1,879    | 0,501     |
| 64              | 2,23                    | 1,962   | 0,268     | 1,960    | 0,270     | 1,959    | 0,271     | 1,856    | 0,374     |
| 67              | 2,30                    | 2,034   | 0,266     | 2,031    | 0,269     | 2,029    | 0,271     | 1,857    | 0,443     |
| 72              | 2,39                    | 2,126   | 0,264     | 2,122    | 0,268     | 2,119    | 0,271     | 1,857    | 0,533     |
| 75              | 2,56                    | 2,299   | 0,261     | 2,292    | 0,268     | 2,285    | 0,275     | 1,858    | 0,702     |
| 76              | 2,22                    | 1,942   | 0,278     | 1,945    | 0,275     | 1,948    | 0,272     | 1,898    | 0,322     |
| 79              | 2,37                    | 2,117   | 0,253     | 2,113    | 0,257     | 2,109    | 0,261     | 1,869    | 0,501     |
| 82              | 2,50                    | 2,242   | 0,258     | 2,236    | 0,264     | 2,231    | 0,269     | 1,869    | 0,632     |
| 85              | 2,58                    | 2,318   | 0,262     | 2,311    | 0,269     | 2,304    | 0,276     | 1,868    | 0,712     |
| 87              | 2,65                    | 2,385   | 0,266     | 2,376    | 0,274     | 2,369    | 0,282     | 1,868    | 0,782     |
| 90              | 2,40                    | 2,113   | 0,287     | 2,114    | 0,286     | 2,116    | 0,284     | 1,862    | 0,538     |
| 97              | 2,75                    | 2,472   | 0,278     | 2,464    | 0,286     | 2,457    | 0,293     | 1,874    | 0,876     |
| 101             | 2,96                    | 2,673   | 0,288     | 2,661    | 0,300     | 2,649    | 0,311     | 1,876    | 1,085     |
| 103             | 2,80                    | 2,488   | 0,313     | 2,484    | 0,316     | 2,481    | 0,319     | 1,833    | 0,967     |
| 107             | 3,19                    | 2,873   | 0,318     | 2,862    | 0,328     | 2,851    | 0,339     | 1,828    | 1,362     |
| 111             | 3,44                    | 3,107   | 0,333     | 3,085    | 0,356     | 3,063    | 0,377     | 1,863    | 1,577     |
| 115             | 3,67                    | 3,296   | 0,374     | 3,274    | 0,396     | 3,252    | 0,418     | 1,831    | 1,839     |
| 118             | 4,27                    | 3,792   | 0,478     | 3,747    | 0,523     | 3,705    | 0,566     | 1,838    | 2,432     |
| 123             | 2,71                    | 2,433   | 0,277     | 2,427    | 0,283     | 2,422    | 0,288     | 1,879    | 0,832     |
| 127             | 2,81                    | 2,526   | 0,284     | 2,518    | 0,292     | 2,510    | 0,300     | 1,878    | 0,932     |
| 134             | 3,08                    | 2,790   | 0,291     | 2,775    | 0,305     | 2,760    | 0,320     | 1,864    | 1,217     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE YANG

Tabela A.57 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,438   | 0,024     | 2,571            | 0,157     | 2,745            | 0,331     | 2,917            | 0,503     |
| 6               | 18,506                  | 18,435  | 0,071     | 18,683           | 0,177     | 18,999           | 0,493     | 19,311           | 0,805     |
| 7               | 22,529                  | 22,432  | 0,097     | 22,697           | 0,168     | 23,033           | 0,504     | 23,365           | 0,836     |
| 8               | 27,679                  | 27,689  | 0,010     | 27,963           | 0,284     | 28,312           | 0,633     | 28,656           | 0,977     |
| 9               | 30,093                  | 30,144  | 0,051     | 30,401           | 0,308     | 30,730           | 0,637     | 31,053           | 0,960     |
| 10              | 34,599                  | 34,699  | 0,100     | 34,931           | 0,332     | 35,225           | 0,626     | 35,516           | 0,917     |
| 11              | 37,013                  | 37,067  | 0,054     | 37,286           | 0,273     | 37,562           | 0,549     | 37,834           | 0,821     |
| 13              | 30,093                  | 29,750  | 0,343     | 29,945           | 0,148     | 30,200           | 0,107     | 30,450           | 0,357     |
| 14              | 32,507                  | 32,222  | 0,285     | 32,401           | 0,106     | 32,635           | 0,128     | 32,865           | 0,358     |
| 17              | 34,921                  | 34,248  | 0,673     | 34,388           | 0,534     | 34,570           | 0,351     | 34,748           | 0,173     |

Tabela A.58 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,168   | 0,268     | 2,028            | 1,128     | 3,136            | 2,236     | 4,191            | 3,291     |
| 14              | 2,05                    | 2,403   | 0,353     | 3,331            | 1,281     | 4,476            | 2,426     | 5,531            | 3,481     |
| 16              | 1,84                    | 2,175   | 0,335     | 3,119            | 1,279     | 4,269            | 2,429     | 5,320            | 3,480     |
| 21              | 2,05                    | 2,399   | 0,349     | 3,309            | 1,259     | 4,424            | 2,374     | 5,450            | 3,400     |
| 25              | 1,87                    | 2,197   | 0,327     | 3,153            | 1,283     | 4,305            | 2,435     | 5,352            | 3,482     |
| 27              | 1,96                    | 2,294   | 0,334     | 3,235            | 1,275     | 4,373            | 2,413     | 5,409            | 3,449     |
| 30              | 2,14                    | 2,484   | 0,344     | 3,395            | 1,255     | 4,504            | 2,364     | 5,519            | 3,379     |
| 45              | 2,07                    | 2,421   | 0,351     | 3,314            | 1,244     | 4,372            | 2,302     | 5,326            | 3,256     |
| 48              | 2,10                    | 2,416   | 0,316     | 3,445            | 1,345     | 4,694            | 2,594     | 5,827            | 3,727     |
| 51              | 2,34                    | 2,700   | 0,360     | 3,585            | 1,245     | 4,633            | 2,293     | 5,578            | 3,238     |
| 52              | 2,20                    | 2,544   | 0,344     | 3,502            | 1,302     | 4,645            | 2,445     | 5,675            | 3,475     |
| 55              | 2,42                    | 2,787   | 0,367     | 3,706            | 1,286     | 4,810            | 2,390     | 5,813            | 3,393     |
| 60              | 2,38                    | 2,745   | 0,365     | 3,653            | 1,273     | 4,738            | 2,358     | 5,722            | 3,342     |
| 64              | 2,23                    | 2,573   | 0,343     | 3,504            | 1,274     | 4,600            | 2,370     | 5,583            | 3,353     |
| 67              | 2,30                    | 2,648   | 0,348     | 3,567            | 1,267     | 4,652            | 2,352     | 5,628            | 3,328     |
| 72              | 2,39                    | 2,743   | 0,353     | 3,646            | 1,256     | 4,717            | 2,327     | 5,682            | 3,292     |
| 75              | 2,56                    | 2,921   | 0,361     | 3,795            | 1,235     | 4,838            | 2,278     | 5,783            | 3,223     |
| 76              | 2,22                    | 2,536   | 0,316     | 3,567            | 1,347     | 4,816            | 2,596     | 5,946            | 3,726     |
| 79              | 2,37                    | 2,736   | 0,366     | 3,646            | 1,276     | 4,715            | 2,345     | 5,674            | 3,304     |
| 82              | 2,50                    | 2,866   | 0,366     | 3,756            | 1,256     | 4,807            | 2,307     | 5,753            | 3,253     |
| 85              | 2,58                    | 2,946   | 0,366     | 3,823            | 1,243     | 4,862            | 2,282     | 5,799            | 3,219     |
| 87              | 2,65                    | 3,016   | 0,366     | 3,880            | 1,230     | 4,908            | 2,258     | 5,838            | 3,188     |
| 90              | 2,40                    | 2,714   | 0,314     | 3,738            | 1,338     | 4,976            | 2,576     | 6,098            | 3,698     |
| 97              | 2,75                    | 3,106   | 0,356     | 4,005            | 1,255     | 5,073            | 2,323     | 6,038            | 3,288     |
| 101             | 2,96                    | 3,327   | 0,367     | 4,188            | 1,228     | 5,222            | 2,262     | 6,163            | 3,203     |
| 103             | 2,80                    | 3,101   | 0,301     | 4,092            | 1,292     | 5,296            | 2,496     | 6,390            | 3,590     |
| 107             | 3,19                    | 3,492   | 0,302     | 4,433            | 1,243     | 5,585            | 2,395     | 6,639            | 3,449     |
| 111             | 3,44                    | 3,787   | 0,347     | 4,597            | 1,157     | 5,587            | 2,147     | 6,498            | 3,058     |
| 115             | 3,67                    | 3,953   | 0,283     | 4,825            | 1,155     | 5,908            | 2,238     | 6,911            | 3,241     |
| 118             | 4,27                    | 4,543   | 0,273     | 5,330            | 1,060     | 6,326            | 2,056     | 7,263            | 2,993     |
| 123             | 2,71                    | 3,031   | 0,321     | 3,968            | 1,258     | 5,104            | 2,394     | 6,139            | 3,429     |
| 127             | 2,81                    | 3,138   | 0,328     | 4,058            | 1,248     | 5,178            | 2,368     | 6,201            | 3,391     |
| 134             | 3,08                    | 3,442   | 0,362     | 4,272            | 1,192     | 5,268            | 2,188     | 6,177            | 3,097     |

Tabela A.59 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |           |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50 % CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,438   | 0,024     | 2,451    | 0,037     | 2,458     | 0,044     | 2,467    | 0,053     |
| 6               | 18,506                  | 18,435  | 0,071     | 18,456   | 0,050     | 18,472    | 0,034     | 18,490   | 0,017     |
| 7               | 22,529                  | 22,432  | 0,097     | 22,455   | 0,075     | 22,472    | 0,057     | 22,492   | 0,037     |
| 8               | 27,679                  | 27,689  | 0,010     | 27,718   | 0,039     | 27,738    | 0,059     | 27,763   | 0,084     |
| 9               | 30,093                  | 30,144  | 0,051     | 30,172   | 0,079     | 30,192    | 0,099     | 30,216   | 0,123     |
| 10              | 34,599                  | 34,699  | 0,100     | 34,724   | 0,125     | 34,736    | 0,137     | 34,754   | 0,155     |
| 11              | 37,013                  | 37,067  | 0,054     | 37,085   | 0,072     | 37,091    | 0,078     | 37,103   | 0,090     |
| 13              | 30,093                  | 29,750  | 0,343     | 29,648   | 0,445     | 29,648    | 0,445     | 29,598   | 0,495     |
| 14              | 32,507                  | 32,222  | 0,285     | 32,158   | 0,349     | 32,209    | 0,298     | 32,201   | 0,306     |
| 17              | 34,921                  | 34,248  | 0,673     | 34,110   | 0,811     | 34,187    | 0,734     | 34,155   | 0,766     |

Tabela A.60 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,168   | 0,268     | 1,232    | 0,332     | 1,292    | 0,392     | 1,381    | 0,481     |
| 14              | 2,05                    | 2,403   | 0,353     | 2,481    | 0,431     | 2,555    | 0,505     | 2,661    | 0,611     |
| 16              | 1,84                    | 2,175   | 0,335     | 2,253    | 0,413     | 2,327    | 0,487     | 2,437    | 0,597     |
| 21              | 2,05                    | 2,399   | 0,349     | 2,477    | 0,427     | 2,550    | 0,500     | 2,657    | 0,607     |
| 25              | 1,87                    | 2,197   | 0,327     | 2,277    | 0,407     | 2,353    | 0,483     | 2,465    | 0,595     |
| 27              | 1,96                    | 2,294   | 0,334     | 2,374    | 0,414     | 2,45     | 0,490     | 2,562    | 0,602     |
| 30              | 2,14                    | 2,484   | 0,344     | 2,563    | 0,423     | 2,639    | 0,499     | 2,748    | 0,608     |
| 45              | 2,07                    | 2,421   | 0,351     | 2,503    | 0,433     | 2,581    | 0,511     | 2,697    | 0,627     |
| 48              | 2,10                    | 2,416   | 0,316     | 2,494    | 0,394     | 2,568    | 0,468     | 2,677    | 0,577     |
| 51              | 2,34                    | 2,700   | 0,360     | 2,783    | 0,443     | 2,862    | 0,522     | 2,981    | 0,641     |
| 52              | 2,20                    | 2,544   | 0,344     | 2,625    | 0,425     | 2,702    | 0,502     | 2,817    | 0,617     |
| 55              | 2,42                    | 2,787   | 0,367     | 2,870    | 0,450     | 2,947    | 0,527     | 3,062    | 0,642     |
| 60              | 2,38                    | 2,745   | 0,365     | 2,827    | 0,447     | 2,905    | 0,525     | 3,021    | 0,641     |
| 64              | 2,23                    | 2,573   | 0,343     | 2,656    | 0,426     | 2,735    | 0,505     | 2,854    | 0,624     |
| 67              | 2,30                    | 2,648   | 0,348     | 2,730    | 0,430     | 2,809    | 0,509     | 2,928    | 0,628     |
| 72              | 2,39                    | 2,743   | 0,353     | 2,825    | 0,435     | 2,903    | 0,513     | 3,021    | 0,631     |
| 75              | 2,56                    | 2,921   | 0,361     | 3,002    | 0,442     | 3,079    | 0,519     | 3,194    | 0,634     |
| 76              | 2,22                    | 2,536   | 0,316     | 2,614    | 0,394     | 2,688    | 0,468     | 2,798    | 0,578     |
| 79              | 2,37                    | 2,736   | 0,366     | 2,821    | 0,451     | 2,902    | 0,532     | 3,026    | 0,656     |
| 82              | 2,50                    | 2,866   | 0,366     | 2,951    | 0,451     | 3,031    | 0,531     | 3,153    | 0,653     |
| 85              | 2,58                    | 2,946   | 0,366     | 3,030    | 0,450     | 3,109    | 0,529     | 3,230    | 0,650     |
| 87              | 2,65                    | 3,016   | 0,366     | 3,099    | 0,449     | 3,178    | 0,528     | 3,297    | 0,647     |
| 90              | 2,40                    | 2,714   | 0,314     | 2,791    | 0,391     | 2,864    | 0,464     | 2,973    | 0,573     |
| 97              | 2,75                    | 3,106   | 0,356     | 3,188    | 0,438     | 3,265    | 0,515     | 3,386    | 0,636     |
| 101             | 2,96                    | 3,327   | 0,367     | 3,408    | 0,448     | 3,484    | 0,524     | 3,601    | 0,641     |
| 103             | 2,80                    | 3,101   | 0,301     | 3,174    | 0,374     | 3,241    | 0,441     | 3,344    | 0,544     |
| 107             | 3,19                    | 3,492   | 0,302     | 3,559    | 0,369     | 3,619    | 0,429     | 3,710    | 0,520     |
| 111             | 3,44                    | 3,787   | 0,347     | 3,859    | 0,419     | 3,925    | 0,485     | 4,026    | 0,586     |
| 115             | 3,67                    | 3,953   | 0,283     | 4,010    | 0,340     | 4,059    | 0,389     | 4,133    | 0,463     |
| 118             | 4,27                    | 4,543   | 0,273     | 4,587    | 0,317     | 4,621    | 0,351     | 4,671    | 0,401     |
| 123             | 2,71                    | 3,031   | 0,321     | 3,113    | 0,403     | 3,189    | 0,479     | 3,302    | 0,592     |
| 127             | 2,81                    | 3,138   | 0,328     | 3,219    | 0,409     | 3,294    | 0,484     | 3,406    | 0,596     |
| 134             | 3,08                    | 3,442   | 0,362     | 3,522    | 0,442     | 3,596    | 0,516     | 3,712    | 0,632     |

Tabela A.61 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,571  | 0,157     | 2,622    | 0,208     | 2,649    | 0,235     | 2,688    | 0,274     |
| 6               | 18,506                  | 18,683   | 0,177     | 18,770   | 0,264     | 18,827   | 0,321     | 18,899   | 0,393     |
| 7               | 22,529                  | 22,697   | 0,168     | 22,790   | 0,261     | 22,853   | 0,324     | 22,929   | 0,400     |
| 8               | 27,679                  | 27,963   | 0,284     | 28,066   | 0,387     | 28,132   | 0,453     | 28,215   | 0,536     |
| 9               | 30,093                  | 30,401   | 0,308     | 30,502   | 0,409     | 30,563   | 0,470     | 30,642   | 0,549     |
| 10              | 34,599                  | 34,931   | 0,332     | 35,024   | 0,425     | 35,070   | 0,471     | 35,138   | 0,539     |
| 11              | 37,013                  | 37,286   | 0,273     | 37,370   | 0,357     | 37,407   | 0,394     | 37,466   | 0,453     |
| 13              | 30,093                  | 29,945   | 0,148     | 29,907   | 0,186     | 29,960   | 0,133     | 29,965   | 0,128     |
| 14              | 32,507                  | 32,401   | 0,106     | 32,396   | 0,111     | 32,498   | 0,009     | 32,543   | 0,036     |
| 17              | 34,921                  | 34,388   | 0,534     | 34,303   | 0,618     | 34,434   | 0,487     | 34,453   | 0,469     |

Tabela A.62 – Localização de falta monofásica estimada pelo método Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 2,028  | 1,128     | 2,251    | 1,351     | 2,448    | 1,548     | 2,717    | 1,817     |
| 14              | 2,05                    | 3,331  | 1,281     | 3,569    | 1,519     | 3,774    | 1,724     | 4,044    | 1,994     |
| 16              | 1,84                    | 3,119  | 1,279     | 3,364    | 1,524     | 3,576    | 1,736     | 3,860    | 2,020     |
| 21              | 2,05                    | 3,309  | 1,259     | 3,544    | 1,494     | 3,746    | 1,696     | 4,015    | 1,965     |
| 25              | 1,87                    | 3,153  | 1,283     | 3,401    | 1,531     | 3,617    | 1,747     | 3,907    | 2,037     |
| 27              | 1,96                    | 3,235  | 1,275     | 3,479    | 1,519     | 3,692    | 1,732     | 3,976    | 2,016     |
| 30              | 2,14                    | 3,395  | 1,255     | 3,631    | 1,491     | 3,836    | 1,696     | 4,108    | 1,968     |
| 45              | 2,07                    | 3,314  | 1,244     | 3,551    | 1,481     | 3,758    | 1,688     | 4,041    | 1,971     |
| 48              | 2,10                    | 3,445  | 1,345     | 3,703    | 1,603     | 3,925    | 1,825     | 4,221    | 2,121     |
| 51              | 2,34                    | 3,585  | 1,245     | 3,819    | 1,479     | 4,024    | 1,684     | 4,306    | 1,966     |
| 52              | 2,20                    | 3,502  | 1,302     | 3,749    | 1,549     | 3,963    | 1,763     | 4,254    | 2,054     |
| 55              | 2,42                    | 3,706  | 1,286     | 3,943    | 1,523     | 4,148    | 1,728     | 4,424    | 2,004     |
| 60              | 2,38                    | 3,653  | 1,273     | 3,889    | 1,509     | 4,094    | 1,714     | 4,373    | 1,993     |
| 64              | 2,23                    | 3,504  | 1,274     | 3,747    | 1,517     | 3,959    | 1,729     | 4,252    | 2,022     |
| 67              | 2,30                    | 3,567  | 1,267     | 3,807    | 1,507     | 4,016    | 1,716     | 4,305    | 2,005     |
| 72              | 2,39                    | 3,646  | 1,256     | 3,882    | 1,492     | 4,087    | 1,697     | 4,370    | 1,980     |
| 75              | 2,56                    | 3,795  | 1,235     | 4,023    | 1,463     | 4,220    | 1,660     | 4,490    | 1,930     |
| 76              | 2,22                    | 3,567  | 1,347     | 3,824    | 1,604     | 4,044    | 1,824     | 4,339    | 2,119     |
| 79              | 2,37                    | 3,646  | 1,276     | 3,887    | 1,517     | 4,097    | 1,727     | 4,393    | 2,023     |
| 82              | 2,50                    | 3,756  | 1,256     | 3,992    | 1,492     | 4,197    | 1,697     | 4,484    | 1,984     |
| 85              | 2,58                    | 3,823  | 1,243     | 4,055    | 1,475     | 4,257    | 1,677     | 4,538    | 1,958     |
| 87              | 2,65                    | 3,880  | 1,230     | 4,109    | 1,459     | 4,307    | 1,657     | 4,584    | 1,934     |
| 90              | 2,40                    | 3,738  | 1,338     | 3,990    | 1,590     | 4,204    | 1,804     | 4,497    | 2,097     |
| 97              | 2,75                    | 4,005  | 1,255     | 4,237    | 1,487     | 4,436    | 1,686     | 4,729    | 1,979     |
| 101             | 2,96                    | 4,188  | 1,228     | 4,411    | 1,451     | 4,600    | 1,640     | 4,878    | 1,918     |
| 103             | 2,80                    | 4,092  | 1,292     | 4,330    | 1,530     | 4,528    | 1,728     | 4,806    | 2,006     |
| 107             | 3,19                    | 4,433  | 1,243     | 4,650    | 1,460     | 4,828    | 1,638     | 5,074    | 1,884     |
| 111             | 3,44                    | 4,597  | 1,157     | 4,797    | 1,357     | 4,963    | 1,523     | 5,200    | 1,760     |
| 115             | 3,67                    | 4,825  | 1,155     | 5,016    | 1,346     | 5,167    | 1,497     | 5,372    | 1,702     |
| 118             | 4,27                    | 5,330  | 1,060     | 5,486    | 1,216     | 5,603    | 1,333     | 5,757    | 1,487     |
| 123             | 2,71                    | 3,968  | 1,258     | 4,206    | 1,496     | 4,408    | 1,698     | 4,685    | 1,975     |
| 127             | 2,81                    | 4,058  | 1,248     | 4,292    | 1,482     | 4,489    | 1,679     | 4,758    | 1,948     |
| 134             | 3,08                    | 4,272  | 1,192     | 4,487    | 1,407     | 4,670    | 1,590     | 4,938    | 1,858     |

Tabela A.63 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,745  | 0,331     | 2,845    | 0,431     | 2,900    | 0,486     | 2,976    | 0,562     |
| 6               | 18,506                  | 18,999   | 0,493     | 19,172   | 0,666     | 19,284   | 0,778     | 19,423   | 0,917     |
| 7               | 22,529                  | 23,033   | 0,504     | 23,219   | 0,690     | 23,339   | 0,810     | 23,488   | 0,959     |
| 8               | 27,679                  | 28,312   | 0,633     | 28,512   | 0,833     | 28,636   | 0,957     | 28,794   | 1,115     |
| 9               | 30,093                  | 30,730   | 0,637     | 30,924   | 0,831     | 31,037   | 0,944     | 31,187   | 1,094     |
| 10              | 34,599                  | 35,225   | 0,626     | 35,407   | 0,808     | 35,497   | 0,898     | 35,629   | 1,030     |
| 11              | 37,013                  | 37,562   | 0,549     | 37,732   | 0,719     | 37,809   | 0,796     | 37,929   | 0,916     |
| 13              | 30,093                  | 30,200   | 0,107     | 30,244   | 0,151     | 30,365   | 0,272     | 30,442   | 0,349     |
| 14              | 32,507                  | 32,635   | 0,128     | 32,706   | 0,199     | 32,875   | 0,368     | 32,988   | 0,481     |
| 17              | 34,921                  | 34,570   | 0,351     | 34,553   | 0,368     | 34,755   | 0,166     | 34,838   | 0,083     |

Tabela A.64 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 3,136  | 2,236     | 3,501    | 2,601     | 3,795    | 2,895     | 4,165    | 3,265     |
| 14              | 2,05                    | 4,476  | 2,426     | 4,839    | 2,789     | 5,120    | 3,070     | 5,456    | 3,406     |
| 16              | 1,84                    | 4,269  | 2,429     | 4,641    | 2,801     | 4,933    | 3,093     | 5,290    | 3,450     |
| 21              | 2,05                    | 4,424  | 2,374     | 4,782    | 2,732     | 5,061    | 3,011     | 5,398    | 3,348     |
| 25              | 1,87                    | 4,305  | 2,435     | 4,680    | 2,810     | 4,976    | 3,106     | 5,340    | 3,470     |
| 27              | 1,96                    | 4,373  | 2,413     | 4,742    | 2,782     | 5,033    | 3,073     | 5,389    | 3,429     |
| 30              | 2,14                    | 4,504  | 2,364     | 4,861    | 2,721     | 5,140    | 3,000     | 5,481    | 3,341     |
| 45              | 2,07                    | 4,372  | 2,302     | 4,724    | 2,654     | 5,006    | 2,936     | 5,370    | 3,300     |
| 48              | 2,10                    | 4,694  | 2,594     | 5,084    | 2,984     | 5,381    | 3,281     | 5,733    | 3,633     |
| 51              | 2,34                    | 4,633  | 2,293     | 4,979    | 2,639     | 5,257    | 2,917     | 5,616    | 3,276     |
| 52              | 2,20                    | 4,645  | 2,445     | 5,013    | 2,813     | 5,302    | 3,102     | 5,662    | 3,462     |
| 55              | 2,42                    | 4,810  | 2,390     | 5,163    | 2,743     | 5,438    | 3,018     | 5,780    | 3,360     |
| 60              | 2,38                    | 4,738  | 2,358     | 5,090    | 2,710     | 5,366    | 2,986     | 5,714    | 3,334     |
| 64              | 2,23                    | 4,600  | 2,370     | 4,959    | 2,729     | 5,244    | 3,014     | 5,612    | 3,382     |
| 67              | 2,30                    | 4,652  | 2,352     | 5,007    | 2,707     | 5,288    | 2,988     | 5,650    | 3,350     |
| 72              | 2,39                    | 4,717  | 2,327     | 5,066    | 2,676     | 5,342    | 2,952     | 5,696    | 3,306     |
| 75              | 2,56                    | 4,838  | 2,278     | 5,175    | 2,615     | 5,440    | 2,880     | 5,779    | 3,219     |
| 76              | 2,22                    | 4,816  | 2,596     | 5,202    | 2,982     | 5,495    | 3,275     | 5,844    | 3,624     |
| 79              | 2,37                    | 4,715  | 2,345     | 5,070    | 2,700     | 5,353    | 2,983     | 5,726    | 3,356     |
| 82              | 2,50                    | 4,807  | 2,307     | 5,154    | 2,654     | 5,430    | 2,930     | 5,793    | 3,293     |
| 85              | 2,58                    | 4,862  | 2,282     | 5,203    | 2,623     | 5,475    | 2,895     | 5,832    | 3,252     |
| 87              | 2,65                    | 4,908  | 2,258     | 5,245    | 2,595     | 5,512    | 2,862     | 5,864    | 3,214     |
| 90              | 2,40                    | 4,976  | 2,576     | 5,355    | 2,955     | 5,639    | 3,239     | 5,983    | 3,583     |
| 97              | 2,75                    | 5,073  | 2,323     | 5,415    | 2,665     | 5,681    | 2,931     | 6,049    | 3,299     |
| 101             | 2,96                    | 5,222  | 2,262     | 5,550    | 2,590     | 5,803    | 2,843     | 6,152    | 3,192     |
| 103             | 2,80                    | 5,296  | 2,496     | 5,652    | 2,852     | 5,913    | 3,113     | 6,239    | 3,439     |
| 107             | 3,19                    | 5,585  | 2,395     | 5,911    | 2,721     | 6,146    | 2,956     | 6,433    | 3,243     |
| 111             | 3,44                    | 5,587  | 2,147     | 5,883    | 2,443     | 6,105    | 2,665     | 6,401    | 2,961     |
| 115             | 3,67                    | 5,908  | 2,238     | 6,198    | 2,528     | 6,399    | 2,729     | 6,639    | 2,969     |
| 118             | 4,27                    | 6,326  | 2,056     | 6,568    | 2,298     | 6,726    | 2,456     | 6,908    | 2,638     |
| 123             | 2,71                    | 5,104  | 2,394     | 5,458    | 2,748     | 5,727    | 3,017     | 6,062    | 3,352     |
| 127             | 2,81                    | 5,178  | 2,368     | 5,525    | 2,715     | 5,787    | 2,977     | 6,112    | 3,302     |
| 134             | 3,08                    | 5,268  | 2,188     | 5,585    | 2,505     | 5,831    | 2,751     | 6,170    | 3,090     |

Tabela A.65 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,917  | 0,503     | 3,065    | 0,651     | 3,146    | 0,732     | 3,257    | 0,843     |
| 6                     | 18,506                  | 19,311   | 0,805     | 19,568   | 1,062     | 19,732   | 1,226     | 19,936   | 1,430     |
| 7                     | 22,529                  | 23,365   | 0,836     | 23,639   | 1,110     | 23,815   | 1,286     | 24,034   | 1,505     |
| 8                     | 27,679                  | 28,656   | 0,977     | 28,949   | 1,270     | 29,129   | 1,450     | 29,359   | 1,680     |
| 9                     | 30,093                  | 31,053   | 0,960     | 31,338   | 1,245     | 31,502   | 1,409     | 31,720   | 1,627     |
| 10                    | 34,599                  | 35,516   | 0,917     | 35,783   | 1,184     | 35,915   | 1,316     | 36,109   | 1,510     |
| 11                    | 37,013                  | 37,834   | 0,821     | 38,088   | 1,075     | 38,203   | 1,190     | 38,381   | 1,368     |
| 13                    | 30,093                  | 30,450   | 0,357     | 30,572   | 0,479     | 30,759   | 0,666     | 30,904   | 0,811     |
| 14                    | 32,507                  | 32,865   | 0,358     | 33,009   | 0,502     | 33,242   | 0,735     | 33,419   | 0,912     |
| 17                    | 34,921                  | 34,748   | 0,173     | 34,796   | 0,125     | 35,067   | 0,146     | 35,212   | 0,291     |

Tabela A.66 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 4,191  | 3,291     | 4,638    | 3,738     | 4,969    | 4,069     | 5,355    | 4,455     |
| 14                    | 2,05                    | 5,531  | 3,481     | 5,956    | 3,906     | 6,254    | 4,204     | 6,580    | 4,530     |
| 16                    | 1,84                    | 5,320  | 3,480     | 5,756    | 3,916     | 6,069    | 4,229     | 6,423    | 4,583     |
| 21                    | 2,05                    | 5,450  | 3,400     | 5,870    | 3,820     | 6,168    | 4,118     | 6,505    | 4,455     |
| 25                    | 1,87                    | 5,352  | 3,482     | 5,790    | 3,920     | 6,107    | 4,237     | 6,471    | 4,601     |
| 27                    | 1,96                    | 5,409  | 3,449     | 5,841    | 3,881     | 6,152    | 4,192     | 6,509    | 4,549     |
| 30                    | 2,14                    | 5,519  | 3,379     | 5,937    | 3,797     | 6,237    | 4,097     | 6,578    | 4,438     |
| 45                    | 2,07                    | 5,326  | 3,256     | 5,740    | 3,670     | 6,052    | 3,982     | 6,439    | 4,369     |
| 48                    | 2,10                    | 5,827  | 3,727     | 6,272    | 4,172     | 6,575    | 4,475     | 6,895    | 4,795     |
| 51                    | 2,34                    | 5,578  | 3,238     | 5,985    | 3,645     | 6,289    | 3,949     | 6,672    | 4,332     |
| 52                    | 2,20                    | 5,675  | 3,475     | 6,102    | 3,902     | 6,410    | 4,210     | 6,771    | 4,571     |
| 55                    | 2,42                    | 5,813  | 3,393     | 6,223    | 3,803     | 6,516    | 4,096     | 6,859    | 4,439     |
| 60                    | 2,38                    | 5,722  | 3,342     | 6,131    | 3,751     | 6,428    | 4,048     | 6,786    | 4,406     |
| 64                    | 2,23                    | 5,583  | 3,353     | 6,001    | 3,771     | 6,308    | 4,078     | 6,689    | 4,459     |
| 67                    | 2,30                    | 5,628  | 3,328     | 6,041    | 3,741     | 6,344    | 4,044     | 6,719    | 4,419     |
| 72                    | 2,39                    | 5,682  | 3,292     | 6,089    | 3,699     | 6,386    | 3,996     | 6,754    | 4,364     |
| 75                    | 2,56                    | 5,783  | 3,223     | 6,176    | 3,616     | 6,463    | 3,903     | 6,817    | 4,257     |
| 76                    | 2,22                    | 5,946  | 3,726     | 6,387    | 4,167     | 6,683    | 4,463     | 6,998    | 4,778     |
| 79                    | 2,37                    | 5,674  | 3,304     | 6,088    | 3,718     | 6,397    | 4,027     | 6,792    | 4,422     |
| 82                    | 2,50                    | 5,753  | 3,253     | 6,159    | 3,659     | 6,460    | 3,960     | 6,845    | 4,345     |
| 85                    | 2,58                    | 5,799  | 3,219     | 6,199    | 3,619     | 6,496    | 3,916     | 6,875    | 4,295     |
| 87                    | 2,65                    | 5,838  | 3,188     | 6,232    | 3,582     | 6,525    | 3,875     | 6,899    | 4,249     |
| 90                    | 2,40                    | 6,098  | 3,698     | 6,528    | 4,128     | 6,814    | 4,414     | 7,123    | 4,723     |
| 97                    | 2,75                    | 6,038  | 3,288     | 6,435    | 3,685     | 6,721    | 3,971     | 7,100    | 4,350     |
| 101                   | 2,96                    | 6,163  | 3,203     | 6,544    | 3,584     | 6,816    | 3,856     | 7,178    | 4,218     |
| 103                   | 2,80                    | 6,390  | 3,590     | 6,792    | 3,992     | 7,053    | 4,253     | 7,342    | 4,542     |
| 107                   | 3,19                    | 6,639  | 3,449     | 7,010    | 3,820     | 7,242    | 4,052     | 7,493    | 4,303     |
| 111                   | 3,44                    | 6,498  | 3,058     | 6,844    | 3,404     | 7,080    | 3,640     | 7,379    | 3,939     |
| 115                   | 3,67                    | 6,911  | 3,241     | 7,241    | 3,571     | 7,438    | 3,768     | 7,645    | 3,975     |
| 118                   | 4,27                    | 7,263  | 2,993     | 7,541    | 3,271     | 7,694    | 3,424     | 7,845    | 3,575     |
| 123                   | 2,71                    | 6,139  | 3,429     | 6,547    | 3,837     | 6,826    | 4,116     | 7,146    | 4,436     |
| 127                   | 2,81                    | 6,201  | 3,391     | 6,600    | 3,790     | 6,872    | 4,062     | 7,183    | 4,373     |
| 134                   | 3,08                    | 6,177  | 3,097     | 6,547    | 3,467     | 6,814    | 3,734     | 7,172    | 4,092     |

Tabela A.67 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,395   | 0,019     | 2,447           | 0,033     |
| 6               | 18,506                  | 18,246  | 0,261     | 18,317          | 0,189     |
| 7               | 22,529                  | 22,200  | 0,329     | 22,275          | 0,254     |
| 8               | 27,679                  | 27,496  | 0,183     | 27,572          | 0,107     |
| 9               | 30,093                  | 29,975  | 0,118     | 30,047          | 0,046     |
| 10              | 34,599                  | 34,593  | 0,006     | 34,657          | 0,058     |
| 11              | 37,013                  | 36,954  | 0,059     | 37,013          | 0,000     |

Tabela A.68 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,977   | 0,077     | 1,361           | 0,461     |
| 14              | 2,05                    | 2,197   | 0,147     | 2,609           | 0,559     |
| 16              | 1,84                    | 1,963   | 0,123     | 2,389           | 0,549     |
| 21              | 2,05                    | 2,195   | 0,145     | 2,602           | 0,552     |
| 25              | 1,87                    | 1,988   | 0,118     | 2,423           | 0,553     |
| 27              | 1,96                    | 2,09  | 0,130     | 2,516           | 0,556     |
| 30              | 2,14                    | 2,286   | 0,146     | 2,696           | 0,556     |
| 45              | 2,07                    | 2,224   | 0,154     | 2,635           | 0,565     |
| 48              | 2,10                    | 2,148   | 0,048     | 2,614           | 0,514     |
| 51              | 2,34                    | 2,494   | 0,154     | 2,900           | 0,560     |
| 52              | 2,20                    | 2,312   | 0,112     | 2,751           | 0,551     |
| 55              | 2,42                    | 2,571   | 0,151     | 2,985           | 0,565     |
| 60              | 2,38                    | 2,532   | 0,152     | 2,944           | 0,564     |
| 64              | 2,23                    | 2,351   | 0,121     | 2,778           | 0,548     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,847           | 0,547     |
| 72              | 2,39                    | 2,524   | 0,134     | 2,936           | 0,546     |
| 75              | 2,56                    | 2,706   | 0,146     | 3,102           | 0,542     |
| 76              | 2,22                    | 2,261   | 0,041     | 2,728           | 0,508     |
| 79              | 2,37                    | 2,528   | 0,158     | 2,946           | 0,576     |
| 82              | 2,50                    | 2,655   | 0,155     | 3,063           | 0,563     |
| 85              | 2,58                    | 2,733   | 0,153     | 3,134           | 0,554     |
| 87              | 2,65                    | 2,800   | 0,150     | 3,196           | 0,546     |
| 90              | 2,40                    | 2,429   | 0,029     | 2,893           | 0,493     |
| 97              | 2,75                    | 2,870   | 0,120     | 3,280           | 0,530     |
| 101             | 2,96                    | 3,097   | 0,137     | 3,486           | 0,526     |
| 103             | 2,80                    | 2,795   | 0,005     | 3,245           | 0,445     |
| 107             | 3,19                    | 3,187   | 0,003     | 3,612           | 0,422     |
| 111             | 3,44                    | 3,539   | 0,099     | 3,899           | 0,459     |
| 115             | 3,67                    | 3,641   | 0,029     | 4,032           | 0,362     |
| 118             | 4,27                    | 4,251   | 0,019     | 4,592           | 0,322     |
| 123             | 2,71                    | 2,8215  | 0,1115    | 3,245           | 0,535     |
| 127             | 2,81                    | 2,9345  | 0,1245    | 3,3478          | 0,5378    |
| 134             | 3,08                    | 3,2114  | 0,1314    | 3,5865          | 0,5065    |

Tabela A.69 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,395   | 0,019     | 2,399    | 0,015     | 2,400    | 0,014     | 2,403    | 0,011     |
| 6               | 18,506                  | 18,246  | 0,261     | 18,243   | 0,264     | 18,240   | 0,266     | 18,237   | 0,269     |
| 7               | 22,529                  | 22,200  | 0,329     | 22,194   | 0,335     | 22,189   | 0,340     | 22,184   | 0,345     |
| 8               | 27,679                  | 27,496  | 0,183     | 27,490   | 0,189     | 27,483   | 0,196     | 27,476   | 0,203     |
| 9               | 30,093                  | 29,975  | 0,118     | 29,968   | 0,125     | 29,958   | 0,136     | 29,949   | 0,144     |
| 10              | 34,599                  | 34,593  | 0,006     | 34,583   | 0,017     | 34,565   | 0,034     | 34,551   | 0,048     |
| 11              | 37,013                  | 36,954  | 0,059     | 36,937   | 0,076     | 36,915   | 0,098     | 36,895   | 0,118     |

Tabela A.70 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,977   | 0,077     | 0,994    | 0,094     | 1,011    | 0,111     | 1,034    | 0,134     |
| 14              | 2,05                    | 2,197   | 0,147     | 2,218    | 0,168     | 2,237    | 0,187     | 2,263    | 0,213     |
| 16              | 1,84                    | 1,963   | 0,123     | 1,984    | 0,144     | 2,004    | 0,164     | 2,032    | 0,192     |
| 21              | 2,05                    | 2,195   | 0,145     | 2,217    | 0,167     | 2,236    | 0,186     | 2,263    | 0,213     |
| 25              | 1,87                    | 1,988   | 0,118     | 2,010    | 0,140     | 2,029    | 0,159     | 2,058    | 0,188     |
| 27              | 1,96                    | 2,09  | 0,130     | 2,112    | 0,152     | 2,132    | 0,172     | 2,16     | 0,200     |
| 30              | 2,14                    | 2,286   | 0,146     | 2,307    | 0,167     | 2,327    | 0,187     | 2,354    | 0,214     |
| 45              | 2,07                    | 2,224   | 0,154     | 2,249    | 0,179     | 2,272    | 0,202     | 2,306    | 0,236     |
| 48              | 2,10                    | 2,148   | 0,048     | 2,162    | 0,062     | 2,174    | 0,074     | 2,192    | 0,092     |
| 51              | 2,34                    | 2,494   | 0,154     | 2,518    | 0,178     | 2,540    | 0,200     | 2,573    | 0,233     |
| 52              | 2,20                    | 2,312   | 0,112     | 2,332    | 0,132     | 2,349    | 0,149     | 2,376    | 0,176     |
| 55              | 2,42                    | 2,571   | 0,151     | 2,593    | 0,173     | 2,612    | 0,192     | 2,640    | 0,220     |
| 60              | 2,38                    | 2,532   | 0,152     | 2,555    | 0,175     | 2,575    | 0,195     | 2,605    | 0,225     |
| 64              | 2,23                    | 2,351   | 0,121     | 2,374    | 0,144     | 2,396    | 0,166     | 2,428    | 0,198     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,450    | 0,150     | 2,471    | 0,171     | 2,503    | 0,203     |
| 72              | 2,39                    | 2,524   | 0,134     | 2,547    | 0,157     | 2,567    | 0,177     | 2,598    | 0,208     |
| 75              | 2,56                    | 2,706   | 0,146     | 2,727    | 0,167     | 2,746    | 0,186     | 2,774    | 0,214     |
| 76              | 2,22                    | 2,261   | 0,041     | 2,274    | 0,054     | 2,285    | 0,065     | 2,302    | 0,082     |
| 79              | 2,37                    | 2,528   | 0,158     | 2,553    | 0,183     | 2,576    | 0,206     | 2,611    | 0,241     |
| 82              | 2,50                    | 2,655   | 0,155     | 2,679    | 0,179     | 2,700    | 0,200     | 2,733    | 0,233     |
| 85              | 2,58                    | 2,733   | 0,153     | 2,755    | 0,175     | 2,776    | 0,196     | 2,808    | 0,228     |
| 87              | 2,65                    | 2,800   | 0,150     | 2,822    | 0,172     | 2,842    | 0,192     | 2,872    | 0,222     |
| 90              | 2,40                    | 2,429   | 0,029     | 2,439    | 0,039     | 2,448    | 0,048     | 2,463    | 0,063     |
| 97              | 2,75                    | 2,870   | 0,120     | 2,888    | 0,138     | 2,904    | 0,154     | 2,931    | 0,181     |
| 101             | 2,96                    | 3,097   | 0,137     | 3,113    | 0,153     | 3,128    | 0,168     | 3,154    | 0,194     |
| 103             | 2,80                    | 2,795   | 0,005     | 2,798    | 0,002     | 2,800    | 0,000     | 2,807    | 0,007     |
| 107             | 3,19                    | 3,187   | 0,003     | 3,183    | 0,007     | 3,178    | 0,012     | 3,175    | 0,015     |
| 111             | 3,44                    | 3,539   | 0,099     | 3,544    | 0,104     | 3,548    | 0,108     | 3,558    | 0,118     |
| 115             | 3,67                    | 3,641   | 0,029     | 3,627    | 0,043     | 3,612    | 0,058     | 3,596    | 0,074     |
| 118             | 4,27                    | 4,251   | 0,019     | 4,224    | 0,046     | 4,195    | 0,075     | 4,160    | 0,110     |
| 123             | 2,71                    | 2,822   | 0,112     | 2,836    | 0,126     | 2,848    | 0,138     | 2,867    | 0,157     |
| 127             | 2,81                    | 2,935   | 0,125     | 2,949    | 0,139     | 2,960    | 0,150     | 2,980    | 0,170     |
| 134             | 3,08                    | 3,211   | 0,131     | 3,227    | 0,147     | 3,240    | 0,160     | 3,265    | 0,185     |

Tabela A.71 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,447   | 0,033     | 2,469    | 0,055     | 2,477    | 0,063     | 2,491    | 0,077     |
| 6               | 18,506                  | 18,317  | 0,189     | 18,340   | 0,166     | 18,345   | 0,161     | 18,359   | 0,147     |
| 7               | 22,529                  | 22,275  | 0,254     | 22,295   | 0,234     | 22,298   | 0,232     | 22,309   | 0,220     |
| 8               | 27,679                  | 27,572  | 0,107     | 27,594   | 0,085     | 27,592   | 0,087     | 27,602   | 0,077     |
| 9               | 30,093                  | 30,047  | 0,046     | 30,067   | 0,026     | 30,061   | 0,032     | 30,069   | 0,025     |
| 10              | 34,599                  | 34,657  | 0,058     | 34,673   | 0,074     | 34,657   | 0,058     | 34,657   | 0,058     |
| 11              | 37,013                  | 37,013  | 0,000     | 37,023   | 0,010     | 37,001   | 0,012     | 36,995   | 0,018     |

Tabela A.72 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,361   | 0,461     | 1,448    | 0,548     | 1,526    | 0,626     | 1,631    | 0,731     |
| 14              | 2,05                    | 2,609   | 0,559     | 2,698    | 0,648     | 2,775    | 0,725     | 2,876    | 0,826     |
| 16              | 1,84                    | 2,389   | 0,549     | 2,483    | 0,643     | 2,566    | 0,726     | 2,675    | 0,835     |
| 21              | 2,05                    | 2,602   | 0,552     | 2,690    | 0,640     | 2,767    | 0,717     | 2,868    | 0,818     |
| 25              | 1,87                    | 2,423   | 0,553     | 2,519    | 0,649     | 2,604    | 0,734     | 2,717    | 0,847     |
| 27              | 1,96                    | 2,516   | 0,556     | 2,61     | 0,650     | 2,692    | 0,732     | 2,802    | 0,842     |
| 30              | 2,14                    | 2,696   | 0,556     | 2,784    | 0,644     | 2,862    | 0,722     | 2,963    | 0,823     |
| 45              | 2,07                    | 2,635   | 0,565     | 2,729    | 0,659     | 2,812    | 0,742     | 2,924    | 0,854     |
| 48              | 2,10                    | 2,614   | 0,514     | 2,707    | 0,607     | 2,788    | 0,688     | 2,898    | 0,798     |
| 51              | 2,34                    | 2,900   | 0,560     | 2,991    | 0,651     | 3,071    | 0,731     | 3,179    | 0,839     |
| 52              | 2,20                    | 2,751   | 0,551     | 2,844    | 0,644     | 2,926    | 0,726     | 3,037    | 0,837     |
| 55              | 2,42                    | 2,985   | 0,565     | 3,073    | 0,653     | 3,150    | 0,730     | 3,252    | 0,832     |
| 60              | 2,38                    | 2,944   | 0,564     | 3,033    | 0,653     | 3,111    | 0,731     | 3,216    | 0,836     |
| 64              | 2,23                    | 2,778   | 0,548     | 2,872    | 0,642     | 2,956    | 0,726     | 3,071    | 0,841     |
| 67              | 2,30                    | 2,847   | 0,547     | 2,940    | 0,640     | 3,021    | 0,721     | 3,133    | 0,833     |
| 72              | 2,39                    | 2,936   | 0,546     | 3,026    | 0,636     | 3,105    | 0,715     | 3,212    | 0,822     |
| 75              | 2,56                    | 3,102   | 0,542     | 3,186    | 0,626     | 3,259    | 0,699     | 3,358    | 0,798     |
| 76              | 2,22                    | 2,728   | 0,508     | 2,819    | 0,599     | 2,899    | 0,679     | 3,007    | 0,787     |
| 79              | 2,37                    | 2,946   | 0,576     | 3,040    | 0,670     | 3,123    | 0,753     | 3,238    | 0,868     |
| 82              | 2,50                    | 3,063   | 0,563     | 3,153    | 0,653     | 3,232    | 0,732     | 3,342    | 0,842     |
| 85              | 2,58                    | 3,134   | 0,554     | 3,222    | 0,642     | 3,298    | 0,718     | 3,404    | 0,824     |
| 87              | 2,65                    | 3,196   | 0,546     | 3,281    | 0,631     | 3,355    | 0,705     | 3,457    | 0,807     |
| 90              | 2,40                    | 2,893   | 0,493     | 2,980    | 0,580     | 3,055    | 0,655     | 3,161    | 0,761     |
| 97              | 2,75                    | 3,280   | 0,530     | 3,363    | 0,613     | 3,435    | 0,685     | 3,543    | 0,793     |
| 101             | 2,96                    | 3,486   | 0,526     | 3,562    | 0,602     | 3,627    | 0,667     | 3,726    | 0,766     |
| 103             | 2,80                    | 3,245   | 0,445     | 3,321    | 0,521     | 3,384    | 0,584     | 3,477    | 0,677     |
| 107             | 3,19                    | 3,612   | 0,422     | 3,672    | 0,482     | 3,721    | 0,531     | 3,793    | 0,603     |
| 111             | 3,44                    | 3,899   | 0,459     | 3,956    | 0,516     | 4,002    | 0,562     | 4,072    | 0,632     |
| 115             | 3,67                    | 4,032   | 0,362     | 4,073    | 0,403     | 4,103    | 0,433     | 4,148    | 0,478     |
| 118             | 4,27                    | 4,592   | 0,322     | 4,608    | 0,338     | 4,613    | 0,343     | 4,622    | 0,352     |
| 123             | 2,71                    | 3,245   | 0,535     | 3,326    | 0,616     | 3,395    | 0,685     | 3,490    | 0,780     |
| 127             | 2,81                    | 3,348   | 0,538     | 3,426    | 0,616     | 3,492    | 0,682     | 3,583    | 0,773     |
| 134             | 3,08                    | 3,587   | 0,507     | 3,659    | 0,579     | 3,721    | 0,641     | 3,813    | 0,733     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 5 – MÉTODO DE YANG

Tabela A.73 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de  $5 \Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,438                             | 0,024     | 2,437    | 0,023     | 2,426           | 0,012     |
| 6               | 18,506                  | 18,435                            | 0,071     | 18,427   | 0,079     | 18,266          | 0,240     |
| 7               | 22,529                  | 22,432                            | 0,097     | 22,421   | 0,108     | 23,486          | 0,957     |
| 8               | 27,679                  | 27,689                            | 0,010     | 27,679   | 0,000     | 30,305          | 2,626     |
| 9               | 30,093                  | 30,144                            | 0,051     | 30,133   | 0,040     | 33,488          | 3,395     |
| 10              | 34,599                  | 34,699                            | 0,100     | 34,691   | 0,092     | 39,401          | 4,802     |
| 11              | 37,013                  | 37,067                            | 0,054     | 37,057   | 0,044     | 42,493          | 5,480     |
| 13              | 30,093                  | 29,750                            | 0,343     | 29,552   | 0,541     | 31,833          | 1,740     |
| 14              | 32,507                  | 32,222                            | 0,285     | 31,966   | 0,541     | 34,214          | 1,707     |
| 17              | 34,921                  | 34,248                            | 0,673     | 33,854   | 1,067     | 35,901          | 0,980     |

Tabela A.74 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de  $5 \Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,168                             | 0,268     | 1,162    | 0,262     | 1,085           | 0,185     |
| 14              | 2,05                    | 2,403                             | 0,353     | 2,396    | 0,346     | 2,001           | 0,049     |
| 16              | 1,84                    | 2,175                             | 0,335     | 2,166    | 0,326     | 1,939           | 0,099     |
| 21              | 2,05                    | 2,399                             | 0,349     | 2,391    | 0,341     | 2,196           | 0,146     |
| 25              | 1,87                    | 2,197                             | 0,327     | 2,187    | 0,317     | 2,047           | 0,177     |
| 27              | 1,96                    | 2,294                             | 0,334     | 2,285    | 0,325     | 2,158           | 0,198     |
| 30              | 2,14                    | 2,484                             | 0,344     | 2,476    | 0,336     | 2,377           | 0,237     |
| 45              | 2,07                    | 2,421                             | 0,351     | 2,412    | 0,342     | 2,302           | 0,232     |
| 48              | 2,10                    | 2,416                             | 0,316     | 2,405    | 0,305     | 2,312           | 0,212     |
| 51              | 2,34                    | 2,700                             | 0,360     | 2,690    | 0,350     | 2,627           | 0,287     |
| 52              | 2,20                    | 2,544                             | 0,344     | 2,533    | 0,333     | 2,451           | 0,251     |
| 55              | 2,42                    | 2,787                             | 0,367     | 2,778    | 0,358     | 2,727           | 0,307     |
| 60              | 2,38                    | 2,745                             | 0,365     | 2,735    | 0,355     | 2,678           | 0,298     |
| 64              | 2,23                    | 2,573                             | 0,343     | 2,561    | 0,331     | 2,482           | 0,252     |
| 67              | 2,30                    | 2,648                             | 0,348     | 2,636    | 0,336     | 2,569           | 0,269     |
| 72              | 2,39                    | 2,743                             | 0,353     | 2,732    | 0,342     | 2,680           | 0,290     |
| 75              | 2,56                    | 2,921                             | 0,361     | 2,912    | 0,352     | 2,888           | 0,328     |
| 76              | 2,22                    | 2,536                             | 0,316     | 2,525    | 0,305     | 2,453           | 0,233     |
| 79              | 2,37                    | 2,736                             | 0,366     | 2,723    | 0,353     | 2,666           | 0,296     |
| 82              | 2,50                    | 2,866                             | 0,366     | 2,855    | 0,355     | 2,820           | 0,320     |
| 85              | 2,58                    | 2,946                             | 0,366     | 2,936    | 0,356     | 2,914           | 0,334     |
| 87              | 2,65                    | 3,016                             | 0,366     | 3,006    | 0,356     | 2,996           | 0,346     |
| 90              | 2,40                    | 2,714                             | 0,314     | 2,702    | 0,302     | 2,661           | 0,261     |
| 97              | 2,75                    | 3,106                             | 0,356     | 3,092    | 0,342     | 3,101           | 0,351     |
| 101             | 2,96                    | 3,327                             | 0,367     | 3,315    | 0,355     | 3,356           | 0,396     |
| 103             | 2,80                    | 3,101                             | 0,301     | 3,087    | 0,287     | 3,115           | 0,315     |
| 107             | 3,19                    | 3,492                             | 0,302     | 3,475    | 0,285     | 3,565           | 0,375     |
| 111             | 3,44                    | 3,787                             | 0,347     | 3,770    | 0,330     | 3,889           | 0,449     |
| 115             | 3,67                    | 3,953                             | 0,283     | 3,929    | 0,259     | 4,090           | 0,420     |
| 118             | 4,27                    | 4,543                             | 0,273     | 4,506    | 0,236     | 4,737           | 0,467     |
| 123             | 2,71                    | 3,031                             | 0,321     | 3,021    | 0,311     | 3,024           | 0,314     |
| 127             | 2,81                    | 3,138                             | 0,328     | 3,128    | 0,318     | 3,144           | 0,334     |
| 134             | 3,08                    | 3,442                             | 0,362     | 3,430    | 0,350     | 3,493           | 0,413     |

Tabela A.75 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,426   | 0,012     | 2,520            | 0,106     | 2,644            | 0,230     | 2,766            | 0,352     |
| 6                     | 18,506                  | 18,266  | 0,240     | 17,881           | 0,625     | 17,386           | 1,120     | 16,906           | 1,600     |
| 7                     | 22,529                  | 23,486  | 0,957     | 23,109           | 0,580     | 22,628           | 0,099     | 22,162           | 0,367     |
| 8                     | 27,679                  | 30,305  | 2,626     | 29,922           | 2,243     | 29,437           | 1,758     | 28,970           | 1,291     |
| 9                     | 30,093                  | 33,488  | 3,395     | 33,077           | 2,984     | 32,556           | 2,463     | 32,054           | 1,961     |
| 10                    | 34,599                  | 39,401  | 4,802     | 38,943           | 4,344     | 38,362           | 3,763     | 37,802           | 3,203     |
| 11                    | 37,013                  | 42,493  | 5,480     | 42,012           | 4,999     | 41,401           | 4,388     | 40,812           | 3,799     |
| 13                    | 30,093                  | 31,833  | 1,740     | 31,395           | 1,302     | 30,832           | 0,739     | 30,288           | 0,195     |
| 14                    | 32,507                  | 34,214  | 1,707     | 33,769           | 1,262     | 33,192           | 0,685     | 32,634           | 0,127     |
| 17                    | 34,921                  | 35,901  | 0,980     | 35,428           | 0,507     | 34,816           | 0,105     | 34,224           | 0,697     |

Tabela A.76 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 1,085   | 0,185     | 1,653            | 0,753     | 2,322            | 1,422     | 2,921            | 2,021     |
| 14                    | 2,05                    | 2,001   | 0,049     | 1,845            | 0,205     | 1,795            | 0,255     | 1,866            | 0,184     |
| 16                    | 1,84                    | 1,939   | 0,099     | 2,208            | 0,368     | 2,572            | 0,732     | 2,941            | 1,101     |
| 21                    | 2,05                    | 2,196   | 0,146     | 2,430            | 0,380     | 2,761            | 0,711     | 3,104            | 1,054     |
| 25                    | 1,87                    | 2,047   | 0,177     | 2,482            | 0,612     | 3,003            | 1,133     | 3,479            | 1,609     |
| 27                    | 1,96                    | 2,158   | 0,198     | 2,578            | 0,618     | 3,083            | 1,123     | 3,548            | 1,588     |
| 30                    | 2,14                    | 2,377   | 0,237     | 2,766            | 0,626     | 3,241            | 1,101     | 3,685            | 1,545     |
| 45                    | 2,07                    | 2,302   | 0,232     | 2,676            | 0,606     | 3,121            | 1,051     | 3,528            | 1,458     |
| 48                    | 2,10                    | 2,312   | 0,212     | 2,820            | 0,720     | 3,427            | 1,327     | 3,978            | 1,878     |
| 51                    | 2,34                    | 2,627   | 0,287     | 2,991            | 0,651     | 3,424            | 1,084     | 3,824            | 1,484     |
| 52                    | 2,20                    | 2,451   | 0,251     | 2,888            | 0,688     | 3,403            | 1,203     | 3,872            | 1,672     |
| 55                    | 2,42                    | 2,727   | 0,307     | 3,122            | 0,702     | 3,598            | 1,178     | 4,038            | 1,618     |
| 60                    | 2,38                    | 2,678   | 0,298     | 3,064            | 0,684     | 3,526            | 1,146     | 3,953            | 1,573     |
| 64                    | 2,23                    | 2,482   | 0,252     | 2,895            | 0,665     | 3,379            | 1,149     | 3,816            | 1,586     |
| 67                    | 2,30                    | 2,569   | 0,269     | 2,970            | 0,670     | 3,442            | 1,142     | 3,871            | 1,571     |
| 72                    | 2,39                    | 2,680   | 0,290     | 3,065            | 0,675     | 3,521            | 1,131     | 3,939            | 1,549     |
| 75                    | 2,56                    | 2,888   | 0,328     | 3,241            | 0,681     | 3,667            | 1,107     | 4,065            | 1,505     |
| 76                    | 2,22                    | 2,453   | 0,233     | 2,963            | 0,743     | 3,570            | 1,350     | 4,121            | 1,901     |
| 79                    | 2,37                    | 2,666   | 0,296     | 3,054            | 0,684     | 3,510            | 1,140     | 3,925            | 1,555     |
| 82                    | 2,50                    | 2,820   | 0,320     | 3,187            | 0,687     | 3,623            | 1,123     | 4,023            | 1,523     |
| 85                    | 2,58                    | 2,914   | 0,334     | 3,267            | 0,687     | 3,689            | 1,109     | 4,081            | 1,501     |
| 87                    | 2,65                    | 2,996   | 0,346     | 3,336            | 0,686     | 3,747            | 1,097     | 4,130            | 1,480     |
| 90                    | 2,40                    | 2,661   | 0,261     | 3,162            | 0,762     | 3,760            | 1,360     | 4,304            | 1,904     |
| 97                    | 2,75                    | 3,101   | 0,351     | 3,470            | 0,720     | 3,913            | 1,163     | 4,324            | 1,574     |
| 101                   | 2,96                    | 3,356   | 0,396     | 3,686            | 0,726     | 4,092            | 1,132     | 4,477            | 1,517     |
| 103                   | 2,80                    | 3,115   | 0,315     | 3,579            | 0,779     | 4,139            | 1,339     | 4,655            | 1,855     |
| 107                   | 3,19                    | 3,565   | 0,375     | 3,966            | 0,776     | 4,463            | 1,273     | 4,931            | 1,741     |
| 111                   | 3,44                    | 3,889   | 0,449     | 4,153            | 0,713     | 4,500            | 1,060     | 4,844            | 1,404     |
| 115                   | 3,67                    | 4,090   | 0,420     | 4,404            | 0,734     | 4,813            | 1,143     | 5,216            | 1,546     |
| 118                   | 4,27                    | 4,737   | 0,467     | 4,926            | 0,656     | 5,209            | 0,939     | 5,517            | 1,247     |
| 123                   | 2,71                    | 3,024   | 0,314     | 3,439            | 0,729     | 3,943            | 1,233     | 4,409            | 1,699     |
| 127                   | 2,81                    | 3,144   | 0,334     | 3,543            | 0,733     | 4,030            | 1,220     | 4,484            | 1,674     |
| 134                   | 3,08                    | 3,493   | 0,413     | 3,789            | 0,709     | 4,161            | 1,081     | 4,518            | 1,438     |

Tabela A.77 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,426   | 0,012     | 2,436    | 0,022     | 2,442    | 0,028     | 2,450    | 0,036     |
| 6               | 18,506                  | 18,266  | 0,240     | 18,290   | 0,216     | 18,306   | 0,200     | 18,326   | 0,180     |
| 7               | 22,529                  | 23,486  | 0,957     | 23,511   | 0,982     | 23,529   | 1,000     | 23,551   | 1,022     |
| 8               | 27,679                  | 30,305  | 2,626     | 30,336   | 2,657     | 30,356   | 2,677     | 30,381   | 2,702     |
| 9               | 30,093                  | 33,488  | 3,395     | 33,518   | 3,425     | 33,537   | 3,444     | 33,561   | 3,468     |
| 10              | 34,599                  | 39,401  | 4,802     | 39,424   | 4,825     | 39,431   | 4,832     | 39,446   | 4,847     |
| 11              | 37,013                  | 42,493  | 5,480     | 42,508   | 5,495     | 42,506   | 5,493     | 42,513   | 5,500     |
| 13              | 30,093                  | 31,833  | 1,740     | 31,737   | 1,644     | 31,736   | 1,643     | 31,688   | 1,595     |
| 14              | 32,507                  | 34,214  | 1,707     | 34,159   | 1,652     | 34,209   | 1,702     | 34,205   | 1,698     |
| 17              | 34,921                  | 35,901  | 0,980     | 35,776   | 0,855     | 35,851   | 0,930     | 35,824   | 0,903     |

Tabela A.78 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,085   | 0,185     | 1,148    | 0,248     | 1,208    | 0,308     | 1,296    | 0,396     |
| 14              | 2,05                    | 2,001   | 0,049     | 2,093    | 0,043     | 2,181    | 0,131     | 2,310    | 0,260     |
| 16              | 1,84                    | 1,939   | 0,099     | 2,025    | 0,185     | 2,107    | 0,267     | 2,229    | 0,389     |
| 21              | 2,05                    | 2,196   | 0,146     | 2,282    | 0,232     | 2,363    | 0,313     | 2,482    | 0,432     |
| 25              | 1,87                    | 2,047   | 0,177     | 2,131    | 0,261     | 2,213    | 0,343     | 2,334    | 0,464     |
| 27              | 1,96                    | 2,158   | 0,198     | 2,243    | 0,283     | 2,324    | 0,364     | 2,445    | 0,485     |
| 30              | 2,14                    | 2,377   | 0,237     | 2,462    | 0,322     | 2,542    | 0,402     | 2,660    | 0,520     |
| 45              | 2,07                    | 2,302   | 0,232     | 2,387    | 0,317     | 2,470    | 0,400     | 2,594    | 0,524     |
| 48              | 2,10                    | 2,312   | 0,212     | 2,397    | 0,297     | 2,477    | 0,377     | 2,598    | 0,498     |
| 51              | 2,34                    | 2,627   | 0,287     | 2,714    | 0,374     | 2,798    | 0,458     | 2,924    | 0,584     |
| 52              | 2,20                    | 2,451   | 0,251     | 2,537    | 0,337     | 2,620    | 0,420     | 2,744    | 0,544     |
| 55              | 2,42                    | 2,727   | 0,307     | 2,814    | 0,394     | 2,897    | 0,477     | 3,021    | 0,601     |
| 60              | 2,38                    | 2,678   | 0,298     | 2,765    | 0,385     | 2,848    | 0,468     | 2,973    | 0,593     |
| 64              | 2,23                    | 2,482   | 0,252     | 2,569    | 0,339     | 2,654    | 0,424     | 2,782    | 0,552     |
| 67              | 2,30                    | 2,569   | 0,269     | 2,656    | 0,356     | 2,740    | 0,440     | 2,867    | 0,567     |
| 72              | 2,39                    | 2,680   | 0,290     | 2,767    | 0,377     | 2,850    | 0,460     | 2,976    | 0,586     |
| 75              | 2,56                    | 2,888   | 0,328     | 2,974    | 0,414     | 3,055    | 0,495     | 3,178    | 0,618     |
| 76              | 2,22                    | 2,453   | 0,233     | 2,538    | 0,318     | 2,618    | 0,398     | 2,739    | 0,519     |
| 79              | 2,37                    | 2,666   | 0,296     | 2,755    | 0,385     | 2,841    | 0,471     | 2,973    | 0,603     |
| 82              | 2,50                    | 2,820   | 0,320     | 2,909    | 0,409     | 2,993    | 0,493     | 3,123    | 0,623     |
| 85              | 2,58                    | 2,914   | 0,334     | 3,002    | 0,422     | 3,086    | 0,506     | 3,214    | 0,634     |
| 87              | 2,65                    | 2,996   | 0,346     | 3,083    | 0,433     | 3,166    | 0,516     | 3,292    | 0,642     |
| 90              | 2,40                    | 2,661   | 0,261     | 2,745    | 0,345     | 2,824    | 0,424     | 2,944    | 0,544     |
| 97              | 2,75                    | 3,101   | 0,351     | 3,187    | 0,437     | 3,269    | 0,519     | 3,398    | 0,648     |
| 101             | 2,96                    | 3,356   | 0,396     | 3,441    | 0,481     | 3,520    | 0,560     | 3,646    | 0,686     |
| 103             | 2,80                    | 3,115   | 0,315     | 3,193    | 0,393     | 3,266    | 0,466     | 3,380    | 0,580     |
| 107             | 3,19                    | 3,565   | 0,375     | 3,637    | 0,447     | 3,702    | 0,512     | 3,803    | 0,613     |
| 111             | 3,44                    | 3,889   | 0,449     | 3,964    | 0,524     | 4,032    | 0,592     | 4,141    | 0,701     |
| 115             | 3,67                    | 4,090   | 0,420     | 4,150    | 0,480     | 4,203    | 0,533     | 4,287    | 0,617     |
| 118             | 4,27                    | 4,737   | 0,467     | 4,784    | 0,514     | 4,821    | 0,551     | 4,880    | 0,610     |
| 123             | 2,71                    | 3,024   | 0,314     | 3,110    | 0,400     | 3,191    | 0,481     | 3,314    | 0,604     |
| 127             | 2,81                    | 3,144   | 0,334     | 3,230    | 0,420     | 3,310    | 0,500     | 3,432    | 0,622     |
| 134             | 3,08                    | 3,493   | 0,413     | 3,576    | 0,496     | 3,654    | 0,574     | 3,777    | 0,697     |

Tabela A.79 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,395                             | 0,019     | 2,394    | 0,020     | 2,392           | 0,022     |
| 6               | 18,506                  | 18,246                            | 0,261     | 18,236   | 0,270     | 18,198          | 0,308     |
| 7               | 22,529                  | 22,200                            | 0,329     | 22,188   | 0,341     | 22,710          | 0,181     |
| 8               | 27,679                  | 27,496                            | 0,183     | 27,487   | 0,192     | 28,716          | 1,037     |
| 9               | 30,093                  | 29,975                            | 0,118     | 29,968   | 0,125     | 31,528          | 1,435     |
| 10              | 34,599                  | 34,593                            | 0,006     | 34,590   | 0,009     | 36,768          | 2,169     |
| 11              | 37,013                  | 36,954                            | 0,059     | 36,949   | 0,064     | 39,462          | 2,449     |

Tabela A.80 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,977                             | 0,077     | 0,975    | 0,075     | 0,946           | 0,046     |
| 14              | 2,05                    | 2,197                             | 0,147     | 2,193    | 0,143     | 2,038           | 0,012     |
| 16              | 1,84                    | 1,963                             | 0,123     | 1,960    | 0,120     | 1,866           | 0,026     |
| 21              | 2,05                    | 2,195                             | 0,145     | 2,192    | 0,142     | 2,112           | 0,062     |
| 25              | 1,87                    | 1,988                             | 0,118     | 1,984    | 0,114     | 1,932           | 0,062     |
| 27              | 1,96                    | 2,09                              | 0,130     | 2,086    | 0,126     | 2,041           | 0,081     |
| 30              | 2,14                    | 2,286                             | 0,146     | 2,283    | 0,143     | 2,254           | 0,114     |
| 45              | 2,07                    | 2,224                             | 0,154     | 2,221    | 0,151     | 2,195           | 0,125     |
| 48              | 2,10                    | 2,148                             | 0,048     | 2,143    | 0,043     | 2,129           | 0,029     |
| 51              | 2,34                    | 2,494                             | 0,154     | 2,491    | 0,151     | 2,500           | 0,160     |
| 52              | 2,20                    | 2,312                             | 0,112     | 2,308    | 0,108     | 2,302           | 0,102     |
| 55              | 2,42                    | 2,571                             | 0,151     | 2,567    | 0,147     | 2,574           | 0,154     |
| 60              | 2,38                    | 2,532                             | 0,152     | 2,528    | 0,148     | 2,535           | 0,155     |
| 64              | 2,23                    | 2,351                             | 0,121     | 2,346    | 0,116     | 2,342           | 0,112     |
| 67              | 2,30                    | 2,427                             | 0,127     | 2,422    | 0,122     | 2,427           | 0,127     |
| 72              | 2,39                    | 2,524                             | 0,134     | 2,520    | 0,130     | 2,536           | 0,146     |
| 75              | 2,56                    | 2,706                             | 0,146     | 2,703    | 0,143     | 2,738           | 0,178     |
| 76              | 2,22                    | 2,261                             | 0,041     | 2,256    | 0,036     | 2,257           | 0,037     |
| 79              | 2,37                    | 2,528                             | 0,158     | 2,523    | 0,153     | 2,536           | 0,166     |
| 82              | 2,50                    | 2,655                             | 0,155     | 2,651    | 0,151     | 2,681           | 0,181     |
| 85              | 2,58                    | 2,733                             | 0,153     | 2,729    | 0,149     | 2,769           | 0,189     |
| 87              | 2,65                    | 2,800                             | 0,150     | 2,796    | 0,146     | 2,846           | 0,196     |
| 90              | 2,40                    | 2,429                             | 0,029     | 2,424    | 0,024     | 2,447           | 0,047     |
| 97              | 2,75                    | 2,870                             | 0,120     | 2,864    | 0,114     | 2,925           | 0,175     |
| 101             | 2,96                    | 3,097                             | 0,137     | 3,091    | 0,131     | 3,172           | 0,212     |
| 103             | 2,80                    | 2,795                             | 0,005     | 2,789    | 0,011     | 2,862           | 0,062     |
| 107             | 3,19                    | 3,187                             | 0,003     | 3,180    | 0,010     | 3,296           | 0,106     |
| 111             | 3,44                    | 3,539                             | 0,099     | 3,531    | 0,091     | 3,663           | 0,223     |
| 115             | 3,67                    | 3,641                             | 0,029     | 3,631    | 0,039     | 3,790           | 0,120     |
| 118             | 4,27                    | 4,251                             | 0,019     | 4,236    | 0,034     | 4,423           | 0,153     |
| 123             | 2,71                    | 2,822                             | 0,112     | 2,817    | 0,107     | 2,863           | 0,153     |
| 127             | 2,81                    | 2,935                             | 0,125     | 2,930    | 0,120     | 2,981           | 0,171     |
| 134             | 3,08                    | 3,211                             | 0,131     | 3,206    | 0,126     | 3,307           | 0,227     |

Tabela A.81 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392   | 0,022     | 2,434           | 0,020     |
| 6               | 18,506                  | 18,198  | 0,308     | 18,100          | 0,406     |
| 7               | 22,529                  | 22,710  | 0,181     | 22,613          | 0,084     |
| 8               | 27,679                  | 28,716  | 1,037     | 28,618          | 0,939     |
| 9               | 30,093                  | 31,528  | 1,435     | 31,423          | 1,330     |
| 10              | 34,599                  | 36,768  | 2,169     | 36,651          | 2,052     |
| 11              | 37,013                  | 39,462  | 2,449     | 39,339          | 2,326     |

Tabela A.82 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,946   | 0,046     | 1,206           | 0,306     |
| 14              | 2,05                    | 2,038   | 0,012     | 1,867           | 0,183     |
| 16              | 1,84                    | 1,866   | 0,026     | 1,929           | 0,089     |
| 21              | 2,05                    | 2,112   | 0,062     | 2,158           | 0,108     |
| 25              | 1,87                    | 1,932   | 0,062     | 2,090           | 0,220     |
| 27              | 1,96                    | 2,041   | 0,081     | 2,191           | 0,231     |
| 30              | 2,14                    | 2,254   | 0,114     | 2,389           | 0,249     |
| 45              | 2,07                    | 2,195   | 0,125     | 2,325           | 0,255     |
| 48              | 2,10                    | 2,129   | 0,029     | 2,322           | 0,222     |
| 51              | 2,34                    | 2,500   | 0,160     | 2,625           | 0,285     |
| 52              | 2,20                    | 2,302   | 0,102     | 2,463           | 0,263     |
| 55              | 2,42                    | 2,574   | 0,154     | 2,712           | 0,292     |
| 60              | 2,38                    | 2,535   | 0,155     | 2,669           | 0,289     |
| 64              | 2,23                    | 2,342   | 0,112     | 2,492           | 0,262     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,570           | 0,270     |
| 72              | 2,39                    | 2,536   | 0,146     | 2,670           | 0,280     |
| 75              | 2,56                    | 2,738   | 0,178     | 2,857           | 0,297     |
| 76              | 2,22                    | 2,257   | 0,037     | 2,451           | 0,231     |
| 79              | 2,37                    | 2,536   | 0,166     | 2,672           | 0,302     |
| 82              | 2,50                    | 2,681   | 0,181     | 2,807           | 0,307     |
| 85              | 2,58                    | 2,769   | 0,189     | 2,888           | 0,308     |
| 87              | 2,65                    | 2,846   | 0,196     | 2,959           | 0,309     |
| 90              | 2,40                    | 2,447   | 0,047     | 2,638           | 0,238     |
| 97              | 2,75                    | 2,925   | 0,175     | 3,052           | 0,302     |
| 101             | 2,96                    | 3,172   | 0,212     | 3,279           | 0,319     |
| 103             | 2,80                    | 2,862   | 0,062     | 3,036           | 0,236     |
| 107             | 3,19                    | 3,296   | 0,106     | 3,440           | 0,250     |
| 111             | 3,44                    | 3,663   | 0,223     | 3,738           | 0,298     |
| 115             | 3,67                    | 3,790   | 0,120     | 3,892           | 0,222     |
| 118             | 4,27                    | 4,423   | 0,153     | 4,458           | 0,188     |
| 123             | 2,71                    | 2,863   | 0,153     | 3,011           | 0,301     |
| 127             | 2,81                    | 2,981   | 0,171     | 3,120           | 0,310     |
| 134             | 3,08                    | 3,307   | 0,227     | 3,399           | 0,319     |

Tabela A.83 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392   | 0,022     | 2,395    | 0,019     | 2,396    | 0,018     | 2,399    | 0,015     |
| 6               | 18,506                  | 18,198  | 0,308     | 18,196   | 0,310     | 18,194   | 0,312     | 18,192   | 0,314     |
| 7               | 22,529                  | 22,710  | 0,181     | 22,705   | 0,176     | 22,701   | 0,172     | 22,696   | 0,167     |
| 8               | 27,679                  | 28,716  | 1,037     | 28,712   | 1,033     | 28,704   | 1,025     | 28,699   | 1,020     |
| 9               | 30,093                  | 31,528  | 1,435     | 31,523   | 1,430     | 31,513   | 1,420     | 31,505   | 1,412     |
| 10              | 34,599                  | 36,768  | 2,169     | 36,760   | 2,161     | 36,741   | 2,142     | 36,727   | 2,128     |
| 11              | 37,013                  | 39,462  | 2,449     | 39,448   | 2,435     | 39,423   | 2,410     | 39,404   | 2,391     |

Tabela A.84 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Yang para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,946   | 0,046     | 0,964    | 0,064     | 0,982    | 0,082     | 2,813    | 1,913     |
| 14              | 2,05                    | 2,038   | 0,012     | 2,066    | 0,016     | 2,092    | 0,042     | 3,408    | 1,358     |
| 16              | 1,84                    | 1,866   | 0,026     | 1,892    | 0,052     | 1,916    | 0,076     | 3,246    | 1,406     |
| 21              | 2,05                    | 2,112   | 0,062     | 2,139    | 0,089     | 2,163    | 0,113     | 3,551    | 1,501     |
| 25              | 1,87                    | 1,932   | 0,062     | 1,957    | 0,087     | 1,980    | 0,110     | 3,284    | 1,414     |
| 27              | 1,96                    | 2,041   | 0,081     | 2,067    | 0,107     | 2,091    | 0,131     | 3,422    | 1,462     |
| 30              | 2,14                    | 2,254   | 0,114     | 2,280    | 0,140     | 2,304    | 0,164     | 3,659    | 1,519     |
| 45              | 2,07                    | 2,195   | 0,125     | 2,223    | 0,153     | 2,249    | 0,179     | 3,997    | 1,927     |
| 48              | 2,10                    | 2,129   | 0,029     | 2,147    | 0,047     | 2,164    | 0,064     | 2,849    | 0,749     |
| 51              | 2,34                    | 2,500   | 0,160     | 2,527    | 0,187     | 2,553    | 0,213     | 4,120    | 1,780     |
| 52              | 2,20                    | 2,302   | 0,102     | 2,325    | 0,125     | 2,347    | 0,147     | 3,472    | 1,272     |
| 55              | 2,42                    | 2,574   | 0,154     | 2,600    | 0,180     | 2,624    | 0,204     | 3,964    | 1,544     |
| 60              | 2,38                    | 2,535   | 0,155     | 2,562    | 0,182     | 2,586    | 0,206     | 4,001    | 1,621     |
| 64              | 2,23                    | 2,342   | 0,112     | 2,369    | 0,139     | 2,394    | 0,164     | 3,808    | 1,578     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,454    | 0,154     | 2,479    | 0,179     | 3,879    | 1,579     |
| 72              | 2,39                    | 2,536   | 0,146     | 2,562    | 0,172     | 2,586    | 0,196     | 3,973    | 1,583     |
| 75              | 2,56                    | 2,738   | 0,178     | 2,763    | 0,203     | 2,786    | 0,226     | 4,157    | 1,597     |
| 76              | 2,22                    | 2,257   | 0,037     | 2,274    | 0,054     | 2,290    | 0,070     | 2,924    | 0,704     |
| 79              | 2,37                    | 2,536   | 0,166     | 2,565    | 0,195     | 2,591    | 0,221     | 4,147    | 1,777     |
| 82              | 2,50                    | 2,681   | 0,181     | 2,708    | 0,208     | 2,733    | 0,233     | 4,220    | 1,720     |
| 85              | 2,58                    | 2,769   | 0,189     | 2,795    | 0,215     | 2,820    | 0,240     | 4,269    | 1,689     |
| 87              | 2,65                    | 2,846   | 0,196     | 2,871    | 0,221     | 2,894    | 0,244     | 4,313    | 1,663     |
| 90              | 2,40                    | 2,447   | 0,047     | 2,462    | 0,062     | 2,475    | 0,075     | 3,042    | 0,642     |
| 97              | 2,75                    | 2,925   | 0,175     | 2,947    | 0,197     | 2,967    | 0,217     | 4,129    | 1,379     |
| 101             | 2,96                    | 3,172   | 0,212     | 3,192    | 0,232     | 3,211    | 0,251     | 4,469    | 1,509     |
| 103             | 2,80                    | 2,862   | 0,062     | 2,869    | 0,069     | 2,876    | 0,076     | 3,319    | 0,519     |
| 107             | 3,19                    | 3,296   | 0,106     | 3,297    | 0,107     | 3,296    | 0,106     | 3,727    | 0,537     |
| 111             | 3,44                    | 3,663   | 0,223     | 3,673    | 0,233     | 3,681    | 0,241     | 4,792    | 1,352     |
| 115             | 3,67                    | 3,790   | 0,120     | 3,781    | 0,111     | 3,770    | 0,100     | 4,272    | 0,602     |
| 118             | 4,27                    | 4,423   | 0,153     | 4,402    | 0,132     | 4,378    | 0,108     | 5,246    | 0,976     |
| 123             | 2,71                    | 2,863   | 0,153     | 2,882    | 0,172     | 2,899    | 0,189     | 3,862    | 1,152     |
| 127             | 2,81                    | 2,981   | 0,171     | 3,001    | 0,191     | 3,018    | 0,208     | 4,066    | 1,256     |
| 134             | 3,08                    | 3,307   | 0,227     | 3,326    | 0,246     | 3,344    | 0,264     | 4,585    | 1,505     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE GIRGIS

Tabela A.85 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,420   | 0,006     | 2,545            | 0,131     | 2,819            | 0,405     | 3,214            | 0,800     |
| 6               | 18,506                  | 18,427  | 0,079     | 18,686           | 0,180     | 19,126           | 0,620     | 19,681           | 1,175     |
| 7               | 22,529                  | 22,425  | 0,105     | 22,700           | 0,171     | 23,159           | 0,630     | 23,731           | 1,202     |
| 8               | 27,679                  | 27,681  | 0,002     | 27,969           | 0,290     | 28,445           | 0,766     | 29,033           | 1,354     |
| 9               | 30,093                  | 30,135  | 0,042     | 30,409           | 0,316     | 30,866           | 0,773     | 31,437           | 1,344     |
| 10              | 34,599                  | 34,688  | 0,089     | 34,932           | 0,333     | 35,350           | 0,751     | 35,880           | 1,281     |
| 11              | 37,013                  | 37,054  | 0,041     | 37,281           | 0,268     | 37,675           | 0,662     | 38,183           | 1,170     |
| 13              | 30,093                  | 29,747  | 0,346     | 29,961           | 0,133     | 30,341           | 0,248     | 30,825           | 0,732     |
| 14              | 32,507                  | 32,236  | 0,271     | 32,498           | 0,010     | 32,939           | 0,432     | 33,480           | 0,973     |
| 17              | 34,921                  | 34,276  | 0,645     | 34,529           | 0,392     | 34,954           | 0,033     | 35,473           | 0,552     |

Tabela A.86 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,429   | 0,529     | 2,801            | 1,901     | 4,098            | 3,198     | 5,003            | 4,103     |
| 14              | 2,05                    | 2,804   | 0,754     | 4,539            | 2,489     | 6,131            | 4,081     | 7,218            | 5,168     |
| 16              | 1,84                    | 2,579   | 0,739     | 4,349            | 2,509     | 5,951            | 4,111     | 7,034            | 5,194     |
| 21              | 2,05                    | 2,808   | 0,758     | 4,534            | 2,484     | 6,100            | 4,050     | 7,158            | 5,108     |
| 25              | 1,87                    | 2,627   | 0,757     | 4,443            | 2,573     | 6,068            | 4,198     | 7,154            | 5,284     |
| 27              | 1,96                    | 2,728   | 0,768     | 4,527            | 2,567     | 6,138            | 4,178     | 7,214            | 5,254     |
| 30              | 2,14                    | 2,921   | 0,781     | 4,683            | 2,543     | 6,262            | 4,122     | 7,318            | 5,178     |
| 45              | 2,07                    | 2,887   | 0,817     | 4,693            | 2,623     | 6,254            | 4,184     | 7,264            | 5,194     |
| 48              | 2,10                    | 2,815   | 0,715     | 4,758            | 2,658     | 6,542            | 4,442     | 7,766            | 5,666     |
| 51              | 2,34                    | 3,186   | 0,846     | 5,033            | 2,693     | 6,626            | 4,286     | 7,656            | 5,316     |
| 52              | 2,20                    | 2,992   | 0,792     | 4,896            | 2,696     | 6,584            | 4,384     | 7,705            | 5,505     |
| 55              | 2,42                    | 3,250   | 0,830     | 5,099            | 2,679     | 6,742            | 4,322     | 7,834            | 5,414     |
| 60              | 2,38                    | 3,215   | 0,835     | 5,065            | 2,685     | 6,692            | 4,312     | 7,763            | 5,383     |
| 64              | 2,23                    | 3,055   | 0,825     | 4,956            | 2,726     | 6,610            | 4,380     | 7,688            | 5,458     |
| 67              | 2,30                    | 3,130   | 0,830     | 5,020            | 2,720     | 6,664            | 4,364     | 7,735            | 5,435     |
| 72              | 2,39                    | 3,225   | 0,835     | 5,098            | 2,708     | 6,727            | 4,337     | 7,789            | 5,399     |
| 75              | 2,56                    | 3,403   | 0,843     | 5,241            | 2,681     | 6,841            | 4,281     | 7,885            | 5,325     |
| 76              | 2,22                    | 2,940   | 0,720     | 4,904            | 2,684     | 6,705            | 4,485     | 7,941            | 5,721     |
| 79              | 2,37                    | 3,243   | 0,873     | 5,155            | 2,785     | 6,802            | 4,432     | 7,865            | 5,495     |
| 82              | 2,50                    | 3,372   | 0,872     | 5,266            | 2,766     | 6,897            | 4,397     | 7,950            | 5,450     |
| 85              | 2,58                    | 3,450   | 0,870     | 5,331            | 2,751     | 6,950            | 4,370     | 7,996            | 5,416     |
| 87              | 2,65                    | 3,518   | 0,868     | 5,385            | 2,735     | 6,994            | 4,344     | 8,032            | 5,382     |
| 90              | 2,40                    | 3,118   | 0,718     | 5,094            | 2,694     | 6,903            | 4,503     | 8,142            | 5,742     |
| 97              | 2,75                    | 3,598   | 0,848     | 5,515            | 2,765     | 7,188            | 4,438     | 8,281            | 5,531     |
| 101             | 2,96                    | 3,824   | 0,864     | 5,696            | 2,736     | 7,330            | 4,370     | 8,399            | 5,439     |
| 103             | 2,80                    | 3,497   | 0,697     | 5,462            | 2,662     | 7,261            | 4,461     | 8,492            | 5,692     |
| 107             | 3,19                    | 3,882   | 0,692     | 5,794            | 2,604     | 7,546            | 4,356     | 8,747            | 5,557     |
| 111             | 3,44                    | 4,270   | 0,830     | 6,080            | 2,640     | 7,676            | 4,236     | 8,729            | 5,289     |
| 115             | 3,67                    | 4,338   | 0,668     | 6,162            | 2,492     | 7,840            | 4,170     | 8,992            | 5,322     |
| 118             | 4,27                    | 4,956   | 0,686     | 6,653            | 2,383     | 8,221            | 3,951     | 9,303            | 5,033     |
| 123             | 2,71                    | 3,535   | 0,825     | 5,423            | 2,713     | 7,110            | 4,400     | 8,237            | 5,527     |
| 127             | 2,81                    | 3,649   | 0,839     | 5,513            | 2,703     | 7,180            | 4,370     | 8,295            | 5,485     |
| 134             | 3,08                    | 3,947   | 0,867     | 5,799            | 2,719     | 7,403            | 4,323     | 8,444            | 5,364     |

Tabela A.87 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.5 % CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,420   | 0,006     | 2,427    | 0,013     | 2,433    | 0,019     | 2,440    | 0,026     |
| 6               | 18,506                  | 18,427  | 0,079     | 18,444   | 0,062     | 18,462   | 0,044     | 18,480   | 0,026     |
| 7               | 22,529                  | 22,425  | 0,105     | 22,443   | 0,086     | 22,464   | 0,065     | 22,484   | 0,046     |
| 8               | 27,679                  | 27,681  | 0,002     | 27,705   | 0,026     | 27,730   | 0,051     | 27,754   | 0,075     |
| 9               | 30,093                  | 30,135  | 0,042     | 30,159   | 0,066     | 30,184   | 0,091     | 30,208   | 0,115     |
| 10              | 34,599                  | 34,688  | 0,089     | 34,706   | 0,107     | 34,724   | 0,125     | 34,743   | 0,144     |
| 11              | 37,013                  | 37,054  | 0,041     | 37,066   | 0,053     | 37,078   | 0,065     | 37,089   | 0,076     |
| 13              | 30,093                  | 29,747  | 0,346     | 29,648   | 0,445     | 29,634   | 0,459     | 29,578   | 0,515     |
| 14              | 32,507                  | 32,236  | 0,271     | 32,173   | 0,334     | 32,235   | 0,272     | 32,233   | 0,275     |
| 17              | 34,921                  | 34,276  | 0,645     | 34,143   | 0,778     | 34,233   | 0,688     | 34,209   | 0,712     |

Tabela A.88 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,429   | 0,529     | 1,519    | 0,619     | 1,595    | 0,695     | 1,687    | 0,787     |
| 14              | 2,05                    | 2,804   | 0,754     | 2,928    | 0,878     | 3,031    | 0,981     | 3,154    | 1,104     |
| 16              | 1,84                    | 2,579   | 0,739     | 2,706    | 0,866     | 2,814    | 0,974     | 2,947    | 1,107     |
| 21              | 2,05                    | 2,808   | 0,758     | 2,933    | 0,883     | 3,039    | 0,989     | 3,166    | 1,116     |
| 25              | 1,87                    | 2,627   | 0,757     | 2,760    | 0,890     | 2,874    | 1,004     | 3,016    | 1,146     |
| 27              | 1,96                    | 2,728   | 0,768     | 2,861    | 0,901     | 2,974    | 1,014     | 3,115    | 1,155     |
| 30              | 2,14                    | 2,921   | 0,781     | 3,052    | 0,912     | 3,164    | 1,024     | 3,299    | 1,159     |
| 45              | 2,07                    | 2,887   | 0,817     | 3,033    | 0,963     | 3,159    | 1,089     | 3,320    | 1,250     |
| 48              | 2,10                    | 2,815   | 0,715     | 2,940    | 0,840     | 3,045    | 0,945     | 3,179    | 1,079     |
| 51              | 2,34                    | 3,186   | 0,846     | 3,336    | 0,996     | 3,466    | 1,126     | 3,634    | 1,294     |
| 52              | 2,20                    | 2,992   | 0,792     | 3,131    | 0,931     | 3,250    | 1,050     | 3,403    | 1,203     |
| 55              | 2,42                    | 3,250   | 0,830     | 3,389    | 0,969     | 3,507    | 1,087     | 3,656    | 1,236     |
| 60              | 2,38                    | 3,215   | 0,835     | 3,359    | 0,979     | 3,481    | 1,101     | 3,637    | 1,257     |
| 64              | 2,23                    | 3,055   | 0,825     | 3,203    | 0,973     | 3,331    | 1,101     | 3,500    | 1,270     |
| 67              | 2,30                    | 3,130   | 0,830     | 3,277    | 0,977     | 3,405    | 1,105     | 3,572    | 1,272     |
| 72              | 2,39                    | 3,225   | 0,835     | 3,372    | 0,982     | 3,498    | 1,108     | 3,662    | 1,272     |
| 75              | 2,56                    | 3,403   | 0,843     | 3,547    | 0,987     | 3,671    | 1,111     | 3,829    | 1,269     |
| 76              | 2,22                    | 2,940   | 0,720     | 3,065    | 0,845     | 3,170    | 0,950     | 3,304    | 1,084     |
| 79              | 2,37                    | 3,243   | 0,873     | 3,399    | 1,029     | 3,534    | 1,164     | 3,715    | 1,345     |
| 82              | 2,50                    | 3,372   | 0,872     | 3,526    | 1,026     | 3,660    | 1,160     | 3,837    | 1,337     |
| 85              | 2,58                    | 3,450   | 0,870     | 3,603    | 1,023     | 3,735    | 1,155     | 3,910    | 1,330     |
| 87              | 2,65                    | 3,518   | 0,868     | 3,669    | 1,019     | 3,800    | 1,150     | 3,973    | 1,323     |
| 90              | 2,40                    | 3,118   | 0,718     | 3,241    | 0,841     | 3,344    | 0,944     | 3,479    | 1,079     |
| 97              | 2,75                    | 3,598   | 0,848     | 3,744    | 0,994     | 3,869    | 1,119     | 4,047    | 1,297     |
| 101             | 2,96                    | 3,824   | 0,864     | 3,969    | 1,009     | 4,090    | 1,130     | 4,262    | 1,302     |
| 103             | 2,80                    | 3,497   | 0,697     | 3,612    | 0,812     | 3,707    | 0,907     | 3,834    | 1,034     |
| 107             | 3,19                    | 3,882   | 0,692     | 3,988    | 0,798     | 4,071    | 0,881     | 4,180    | 0,990     |
| 111             | 3,44                    | 4,270   | 0,830     | 4,398    | 0,958     | 4,502    | 1,062     | 4,642    | 1,202     |
| 115             | 3,67                    | 4,338   | 0,668     | 4,429    | 0,759     | 4,497    | 0,827     | 4,582    | 0,912     |
| 118             | 4,27                    | 4,956   | 0,686     | 5,030    | 0,760     | 5,079    | 0,809     | 5,131    | 0,861     |
| 123             | 2,71                    | 3,535   | 0,825     | 3,670    | 0,960     | 3,784    | 1,074     | 3,931    | 1,221     |
| 127             | 2,81                    | 3,649   | 0,839     | 3,784    | 0,974     | 3,896    | 1,086     | 4,041    | 1,231     |
| 134             | 3,08                    | 3,947   | 0,867     | 4,092    | 1,012     | 4,215    | 1,135     | 4,386    | 1,306     |

Tabela A.89 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,545  | 0,131     | 2,585    | 0,171     | 2,625    | 0,211     | 2,664    | 0,250     |
| 6               | 18,506                  | 18,686   | 0,180     | 18,767   | 0,261     | 18,850   | 0,344     | 18,931   | 0,425     |
| 7               | 22,529                  | 22,700   | 0,171     | 22,787   | 0,258     | 22,876   | 0,347     | 22,963   | 0,434     |
| 8               | 27,679                  | 27,969   | 0,290     | 28,065   | 0,386     | 28,162   | 0,483     | 28,256   | 0,577     |
| 9               | 30,093                  | 30,409   | 0,316     | 30,502   | 0,409     | 30,596   | 0,503     | 30,688   | 0,595     |
| 10              | 34,599                  | 34,932   | 0,333     | 35,014   | 0,415     | 35,095   | 0,496     | 35,175   | 0,576     |
| 11              | 37,013                  | 37,281   | 0,268     | 37,353   | 0,340     | 37,425   | 0,412     | 37,495   | 0,482     |
| 13              | 30,093                  | 29,961   | 0,133     | 29,923   | 0,170     | 29,988   | 0,105     | 30,000   | 0,094     |
| 14              | 32,507                  | 32,498   | 0,010     | 32,508   | 0,001     | 32,662   | 0,155     | 32,738   | 0,231     |
| 17              | 34,921                  | 34,529   | 0,392     | 34,469   | 0,452     | 34,660   | 0,261     | 34,716   | 0,205     |

Tabela A.90 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 2,801  | 1,901     | 3,030    | 2,130     | 3,196    | 2,296     | 3,347    | 2,447     |
| 14              | 2,05                    | 4,539  | 2,489     | 4,815    | 2,765     | 5,004    | 2,954     | 5,156    | 3,106     |
| 16              | 1,84                    | 4,349  | 2,509     | 4,640    | 2,800     | 4,844    | 3,004     | 5,020    | 3,180     |
| 21              | 2,05                    | 4,534  | 2,484     | 4,813    | 2,763     | 5,005    | 2,955     | 5,162    | 3,112     |
| 25              | 1,87                    | 4,443  | 2,573     | 4,746    | 2,876     | 4,960    | 3,090     | 5,149    | 3,279     |
| 27              | 1,96                    | 4,527  | 2,567     | 4,825    | 2,865     | 5,035    | 3,075     | 5,216    | 3,256     |
| 30              | 2,14                    | 4,683  | 2,543     | 4,971    | 2,831     | 5,169    | 3,029     | 5,335    | 3,195     |
| 45              | 2,07                    | 4,693  | 2,623     | 5,006    | 2,936     | 5,230    | 3,160     | 5,436    | 3,366     |
| 48              | 2,10                    | 4,758  | 2,658     | 5,060    | 2,960     | 5,266    | 3,166     | 5,448    | 3,348     |
| 51              | 2,34                    | 5,033  | 2,693     | 5,350    | 3,010     | 5,576    | 3,236     | 5,787    | 3,447     |
| 52              | 2,20                    | 4,896  | 2,696     | 5,209    | 3,009     | 5,429    | 3,229     | 5,630    | 3,430     |
| 55              | 2,42                    | 5,099  | 2,679     | 5,399    | 2,979     | 5,605    | 3,185     | 5,785    | 3,365     |
| 60              | 2,38                    | 5,065  | 2,685     | 5,371    | 2,991     | 5,584    | 3,204     | 5,776    | 3,396     |
| 64              | 2,23                    | 4,956  | 2,726     | 5,279    | 3,049     | 5,508    | 3,278     | 5,729    | 3,499     |
| 67              | 2,30                    | 5,020  | 2,720     | 5,339    | 3,039     | 5,565    | 3,265     | 5,779    | 3,479     |
| 72              | 2,39                    | 5,098  | 2,708     | 5,412    | 3,022     | 5,632    | 3,242     | 5,839    | 3,449     |
| 75              | 2,56                    | 5,241  | 2,681     | 5,544    | 2,984     | 5,755    | 3,195     | 5,947    | 3,387     |
| 76              | 2,22                    | 4,904  | 2,684     | 5,205    | 2,985     | 5,409    | 3,189     | 5,593    | 3,373     |
| 79              | 2,37                    | 5,155  | 2,785     | 5,486    | 3,116     | 5,722    | 3,352     | 5,957    | 3,587     |
| 82              | 2,50                    | 5,266  | 2,766     | 5,590    | 3,090     | 5,820    | 3,320     | 6,045    | 3,545     |
| 85              | 2,58                    | 5,331  | 2,751     | 5,651    | 3,071     | 5,876    | 3,296     | 6,095    | 3,515     |
| 87              | 2,65                    | 5,385  | 2,735     | 5,701    | 3,051     | 5,923    | 3,273     | 6,136    | 3,486     |
| 90              | 2,40                    | 5,094  | 2,694     | 5,390    | 2,990     | 5,587    | 3,187     | 5,771    | 3,371     |
| 97              | 2,75                    | 5,515  | 2,765     | 5,827    | 3,077     | 6,042    | 3,292     | 6,282    | 3,532     |
| 101             | 2,96                    | 5,696  | 2,736     | 5,995    | 3,035     | 6,196    | 3,236     | 6,417    | 3,457     |
| 103             | 2,80                    | 5,462  | 2,662     | 5,740    | 2,940     | 5,919    | 3,119     | 6,093    | 3,293     |
| 107             | 3,19                    | 5,794  | 2,604     | 6,047    | 2,857     | 6,200    | 3,010     | 6,336    | 3,146     |
| 111             | 3,44                    | 6,080  | 2,640     | 6,344    | 2,904     | 6,510    | 3,070     | 6,668    | 3,228     |
| 115             | 3,67                    | 6,162  | 2,492     | 6,380    | 2,710     | 6,501    | 2,831     | 6,590    | 2,920     |
| 118             | 4,27                    | 6,653  | 2,383     | 6,824    | 2,554     | 6,901    | 2,631     | 6,928    | 2,658     |
| 123             | 2,71                    | 5,423  | 2,713     | 5,716    | 3,006     | 5,912    | 3,202     | 6,093    | 3,383     |
| 127             | 2,81                    | 5,513  | 2,703     | 5,800    | 2,990     | 5,989    | 3,179     | 6,161    | 3,351     |
| 134             | 3,08                    | 5,799  | 2,719     | 6,096    | 3,016     | 6,297    | 3,217     | 6,511    | 3,431     |

Tabela A.91 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,819  | 0,405     | 2,932    | 0,518     | 3,043    | 0,629     | 3,154    | 0,740     |
| 6               | 18,506                  | 19,126   | 0,620     | 19,318   | 0,812     | 19,512   | 1,006     | 19,701   | 1,195     |
| 7               | 22,529                  | 23,159   | 0,630     | 23,361   | 0,832     | 23,566   | 1,037     | 23,765   | 1,236     |
| 8               | 27,679                  | 28,445   | 0,766     | 28,660   | 0,981     | 28,877   | 1,198     | 29,088   | 1,409     |
| 9               | 30,093                  | 30,866   | 0,773     | 31,076   | 0,983     | 31,286   | 1,193     | 31,490   | 1,397     |
| 10              | 34,599                  | 35,350   | 0,751     | 35,541   | 0,942     | 35,731   | 1,132     | 35,916   | 1,317     |
| 11              | 37,013                  | 37,675   | 0,662     | 37,852   | 0,839     | 38,028   | 1,015     | 38,199   | 1,186     |
| 13              | 30,093                  | 30,341   | 0,248     | 30,407   | 0,314     | 30,597   | 0,504     | 30,717   | 0,624     |
| 14              | 32,507                  | 32,939   | 0,432     | 33,065   | 0,558     | 33,361   | 0,854     | 33,557   | 1,050     |
| 17              | 34,921                  | 34,954   | 0,033     | 35,009   | 0,088     | 35,350   | 0,429     | 35,527   | 0,606     |

Tabela A.92 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 4,098  | 3,198     | 4,343    | 3,443     | 4,476    | 3,576     | 4,519    | 3,619     |
| 14              | 2,05                    | 6,131  | 4,081     | 6,393    | 4,343     | 6,509    | 4,459     | 6,490    | 4,440     |
| 16              | 1,84                    | 5,951  | 4,111     | 6,232    | 4,392     | 6,367    | 4,527     | 6,371    | 4,531     |
| 21              | 2,05                    | 6,100  | 4,050     | 6,363    | 4,313     | 6,483    | 4,433     | 6,467    | 4,417     |
| 25              | 1,87                    | 6,068  | 4,198     | 6,357    | 4,487     | 6,499    | 4,629     | 6,512    | 4,642     |
| 27              | 1,96                    | 6,138  | 4,178     | 6,420    | 4,460     | 6,556    | 4,596     | 6,560    | 4,600     |
| 30              | 2,14                    | 6,262  | 4,122     | 6,531    | 4,391     | 6,654    | 4,514     | 6,641    | 4,501     |
| 45              | 2,07                    | 6,254  | 4,184     | 6,546    | 4,476     | 6,694    | 4,624     | 6,718    | 4,648     |
| 48              | 2,10                    | 6,542  | 4,442     | 6,828    | 4,728     | 6,952    | 4,852     | 6,945    | 4,845     |
| 51              | 2,34                    | 6,626  | 4,286     | 6,918    | 4,578     | 7,061    | 4,721     | 7,084    | 4,744     |
| 52              | 2,20                    | 6,584  | 4,384     | 6,877    | 4,677     | 7,015    | 4,815     | 7,028    | 4,828     |
| 55              | 2,42                    | 6,742  | 4,322     | 7,016    | 4,596     | 7,137    | 4,717     | 7,129    | 4,709     |
| 60              | 2,38                    | 6,692  | 4,312     | 6,973    | 4,593     | 7,102    | 4,722     | 7,105    | 4,725     |
| 64              | 2,23                    | 6,610  | 4,380     | 6,908    | 4,678     | 7,054    | 4,824     | 7,086    | 4,856     |
| 67              | 2,30                    | 6,664  | 4,364     | 6,957    | 4,657     | 7,098    | 4,798     | 7,124    | 4,824     |
| 72              | 2,39                    | 6,727  | 4,337     | 7,014    | 4,624     | 7,149    | 4,759     | 7,166    | 4,776     |
| 75              | 2,56                    | 6,841  | 4,281     | 7,115    | 4,555     | 7,238    | 4,678     | 7,240    | 4,680     |
| 76              | 2,22                    | 6,705  | 4,485     | 6,987    | 4,767     | 7,105    | 4,885     | 7,095    | 4,875     |
| 79              | 2,37                    | 6,802  | 4,432     | 7,106    | 4,736     | 7,256    | 4,886     | 7,300    | 4,930     |
| 82              | 2,50                    | 6,897  | 4,397     | 7,192    | 4,692     | 7,335    | 4,835     | 7,369    | 4,869     |
| 85              | 2,58                    | 6,950  | 4,370     | 7,240    | 4,660     | 7,378    | 4,798     | 7,405    | 4,825     |
| 87              | 2,65                    | 6,994  | 4,344     | 7,279    | 4,629     | 7,412    | 4,762     | 7,433    | 4,783     |
| 90              | 2,40                    | 6,903  | 4,503     | 7,175    | 4,775     | 7,283    | 4,883     | 7,271    | 4,871     |
| 97              | 2,75                    | 7,188  | 4,438     | 7,467    | 4,717     | 7,590    | 4,840     | 7,644    | 4,894     |
| 101             | 2,96                    | 7,330  | 4,370     | 7,592    | 4,632     | 7,700    | 4,740     | 7,735    | 4,775     |
| 103             | 2,80                    | 7,261  | 4,461     | 7,507    | 4,707     | 7,588    | 4,788     | 7,568    | 4,768     |
| 107             | 3,19                    | 7,546  | 4,356     | 7,760    | 4,570     | 7,813    | 4,623     | 7,750    | 4,560     |
| 111             | 3,44                    | 7,676  | 4,236     | 7,895    | 4,455     | 7,962    | 4,522     | 7,926    | 4,486     |
| 115             | 3,67                    | 7,840  | 4,170     | 8,011    | 4,341     | 8,028    | 4,358     | 7,919    | 4,249     |
| 118             | 4,27                    | 8,221  | 3,951     | 8,336    | 4,066     | 8,305    | 4,035     | 8,136    | 3,866     |
| 123             | 2,71                    | 7,110  | 4,400     | 7,372    | 4,662     | 7,476    | 4,766     | 7,463    | 4,753     |
| 127             | 2,81                    | 7,180  | 4,370     | 7,433    | 4,623     | 7,529    | 4,719     | 7,507    | 4,697     |
| 134             | 3,08                    | 7,403  | 4,323     | 7,662    | 4,582     | 7,768    | 4,688     | 7,793    | 4,713     |

Tabela A.93 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 3,214  | 0,800     | 3,428    | 1,014     | 3,641    | 1,227     | 3,849    | 1,435     |
| 6                     | 18,506                  | 19,681   | 1,175     | 20,010   | 1,504     | 20,342   | 1,836     | 20,663   | 2,157     |
| 7                     | 22,529                  | 23,731   | 1,202     | 24,075   | 1,546     | 24,423   | 1,894     | 24,758   | 2,229     |
| 8                     | 27,679                  | 29,033   | 1,354     | 29,395   | 1,716     | 29,757   | 2,078     | 30,108   | 2,429     |
| 9                     | 30,093                  | 31,437   | 1,344     | 31,789   | 1,696     | 32,141   | 2,048     | 32,481   | 2,388     |
| 10                    | 34,599                  | 35,880   | 1,281     | 36,208   | 1,609     | 36,531   | 1,932     | 36,845   | 2,246     |
| 11                    | 37,013                  | 38,183   | 1,170     | 38,491   | 1,478     | 38,796   | 1,783     | 39,092   | 2,079     |
| 13                    | 30,093                  | 30,825   | 0,732     | 31,016   | 0,923     | 31,352   | 1,259     | 31,597   | 1,504     |
| 14                    | 32,507                  | 33,480   | 0,973     | 33,742   | 1,235     | 34,199   | 1,692     | 34,530   | 2,023     |
| 17                    | 34,921                  | 35,473   | 0,552     | 35,658   | 0,737     | 36,166   | 1,245     | 36,475   | 1,554     |

Tabela A.94 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 5,003  | 4,103     | 5,185    | 4,285     | 5,234    | 4,334     | 5,128    | 4,228     |
| 14                    | 2,05                    | 7,218  | 5,168     | 7,382    | 5,332     | 7,378    | 5,328     | 7,164    | 5,114     |
| 16                    | 1,84                    | 7,034  | 5,194     | 7,216    | 5,376     | 7,231    | 5,391     | 7,040    | 5,200     |
| 21                    | 2,05                    | 7,158  | 5,108     | 7,322    | 5,272     | 7,323    | 5,273     | 7,113    | 5,063     |
| 25                    | 1,87                    | 7,154  | 5,284     | 7,342    | 5,472     | 7,361    | 5,491     | 7,175    | 5,305     |
| 27                    | 1,96                    | 7,214  | 5,254     | 7,395    | 5,435     | 7,408    | 5,448     | 7,213    | 5,253     |
| 30                    | 2,14                    | 7,318  | 5,178     | 7,485    | 5,345     | 7,485    | 5,345     | 7,275    | 5,135     |
| 45                    | 2,07                    | 7,264  | 5,194     | 7,453    | 5,383     | 7,478    | 5,408     | 7,303    | 5,233     |
| 48                    | 2,10                    | 7,766  | 5,666     | 7,941    | 5,841     | 7,930    | 5,830     | 7,711    | 5,611     |
| 51                    | 2,34                    | 7,656  | 5,316     | 7,839    | 5,499     | 7,855    | 5,515     | 7,675    | 5,335     |
| 52                    | 2,20                    | 7,705  | 5,505     | 7,889    | 5,689     | 7,896    | 5,696     | 7,701    | 5,501     |
| 55                    | 2,42                    | 7,834  | 5,414     | 7,998    | 5,578     | 7,989    | 5,569     | 7,775    | 5,355     |
| 60                    | 2,38                    | 7,763  | 5,383     | 7,934    | 5,554     | 7,934    | 5,554     | 7,732    | 5,352     |
| 64                    | 2,23                    | 7,688  | 5,458     | 7,876    | 5,646     | 7,891    | 5,661     | 7,716    | 5,486     |
| 67                    | 2,30                    | 7,735  | 5,435     | 7,918    | 5,618     | 7,929    | 5,629     | 7,748    | 5,448     |
| 72                    | 2,39                    | 7,789  | 5,399     | 7,965    | 5,575     | 7,970    | 5,580     | 7,781    | 5,391     |
| 75                    | 2,56                    | 7,885  | 5,325     | 8,047    | 5,487     | 8,041    | 5,481     | 7,839    | 5,279     |
| 76                    | 2,22                    | 7,941  | 5,721     | 8,108    | 5,888     | 8,088    | 5,868     | 7,863    | 5,643     |
| 79                    | 2,37                    | 7,865  | 5,495     | 8,057    | 5,687     | 8,075    | 5,705     | 7,912    | 5,542     |
| 82                    | 2,50                    | 7,950  | 5,450     | 8,133    | 5,633     | 8,144    | 5,644     | 7,970    | 5,470     |
| 85                    | 2,58                    | 7,996  | 5,416     | 8,173    | 5,593     | 8,180    | 5,600     | 8,000    | 5,420     |
| 87                    | 2,65                    | 8,032  | 5,382     | 8,205    | 5,555     | 8,207    | 5,557     | 8,022    | 5,372     |
| 90                    | 2,40                    | 8,142  | 5,742     | 8,297    | 5,897     | 8,264    | 5,864     | 8,037    | 5,637     |
| 97                    | 2,75                    | 8,281  | 5,531     | 8,444    | 5,694     | 8,431    | 5,681     | 8,280    | 5,530     |
| 101                   | 2,96                    | 8,399  | 5,439     | 8,545    | 5,585     | 8,518    | 5,558     | 8,348    | 5,388     |
| 103                   | 2,80                    | 8,492  | 5,692     | 8,616    | 5,816     | 8,554    | 5,754     | 8,319    | 5,519     |
| 107                   | 3,19                    | 8,747  | 5,557     | 8,837    | 5,647     | 8,747    | 5,557     | 8,470    | 5,280     |
| 111                   | 3,44                    | 8,729  | 5,289     | 8,829    | 5,389     | 8,760    | 5,320     | 8,520    | 5,080     |
| 115                   | 3,67                    | 8,992  | 5,322     | 9,039    | 5,369     | 8,916    | 5,246     | 8,599    | 4,929     |
| 118                   | 4,27                    | 9,303  | 5,033     | 9,294    | 5,024     | 9,125    | 4,855     | 8,756    | 4,486     |
| 123                   | 2,71                    | 8,237  | 5,527     | 8,383    | 5,673     | 8,351    | 5,641     | 8,130    | 5,420     |
| 127                   | 2,81                    | 8,295  | 5,485     | 8,431    | 5,621     | 8,392    | 5,582     | 8,162    | 5,352     |
| 134                   | 3,08                    | 8,444  | 5,364     | 8,586    | 5,506     | 8,558    | 5,478     | 8,380    | 5,300     |

Tabela A.95 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,395   | 0,019     | 2,447           | 0,033     |
| 6               | 18,506                  | 18,246  | 0,261     | 18,317          | 0,189     |
| 7               | 22,529                  | 22,200  | 0,329     | 22,275          | 0,254     |
| 8               | 27,679                  | 27,496  | 0,183     | 27,572          | 0,107     |
| 9               | 30,093                  | 29,975  | 0,118     | 30,047          | 0,046     |
| 10              | 34,599                  | 34,593  | 0,006     | 34,657          | 0,058     |
| 11              | 37,013                  | 36,954  | 0,059     | 37,013          | 0,000     |

Tabela A.96 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,977   | 0,077     | 1,361           | 0,461     |
| 14              | 2,05                    | 2,197   | 0,147     | 2,609           | 0,559     |
| 16              | 1,84                    | 1,963   | 0,123     | 2,389           | 0,549     |
| 21              | 2,05                    | 2,195   | 0,145     | 2,602           | 0,552     |
| 25              | 1,87                    | 1,990   | 0,120     | 2,422           | 0,552     |
| 27              | 1,96                    | 2,091   | 0,131     | 2,515           | 0,555     |
| 30              | 2,14                    | 2,288   | 0,148     | 2,695           | 0,555     |
| 45              | 2,07                    | 2,224   | 0,154     | 2,635           | 0,565     |
| 48              | 2,10                    | 2,148   | 0,048     | 2,614           | 0,514     |
| 51              | 2,34                    | 2,494   | 0,154     | 2,900           | 0,560     |
| 52              | 2,20                    | 2,312   | 0,112     | 2,751           | 0,551     |
| 55              | 2,42                    | 2,571   | 0,151     | 2,985           | 0,565     |
| 60              | 2,38                    | 2,532   | 0,152     | 2,944           | 0,564     |
| 64              | 2,23                    | 2,351   | 0,121     | 2,778           | 0,548     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,847           | 0,547     |
| 72              | 2,39                    | 2,524   | 0,134     | 2,936           | 0,546     |
| 75              | 2,56                    | 2,706   | 0,146     | 3,102           | 0,542     |
| 76              | 2,22                    | 2,261   | 0,041     | 2,728           | 0,508     |
| 79              | 2,37                    | 2,528   | 0,158     | 2,946           | 0,576     |
| 82              | 2,50                    | 2,655   | 0,155     | 3,063           | 0,563     |
| 85              | 2,58                    | 2,733   | 0,153     | 3,134           | 0,554     |
| 87              | 2,65                    | 2,800   | 0,150     | 3,196           | 0,546     |
| 90              | 2,40                    | 2,429   | 0,029     | 2,893           | 0,493     |
| 97              | 2,75                    | 2,870   | 0,120     | 3,280           | 0,530     |
| 101             | 2,96                    | 3,097   | 0,137     | 3,486           | 0,526     |
| 103             | 2,80                    | 2,795   | 0,005     | 3,245           | 0,445     |
| 107             | 3,19                    | 3,187   | 0,003     | 3,612           | 0,422     |
| 111             | 3,44                    | 3,539   | 0,099     | 3,899           | 0,459     |
| 115             | 3,67                    | 3,641   | 0,029     | 4,032           | 0,362     |
| 118             | 4,27                    | 4,251   | 0,019     | 4,592           | 0,322     |
| 123             | 2,71                    | 2,835   | 0,125     | 3,250           | 0,540     |
| 127             | 2,81                    | 2,948   | 0,138     | 3,353           | 0,543     |
| 134             | 3,08                    | 3,211   | 0,131     | 3,587           | 0,507     |

Tabela A.97 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,395   | 0,019     | 2,399    | 0,015     | 2,400    | 0,014     | 2,403    | 0,011     |
| 6               | 18,506                  | 18,246  | 0,261     | 18,243   | 0,264     | 18,240   | 0,266     | 18,237   | 0,269     |
| 7               | 22,529                  | 22,200  | 0,329     | 22,194   | 0,335     | 22,189   | 0,340     | 22,184   | 0,345     |
| 8               | 27,679                  | 27,496  | 0,183     | 27,490   | 0,189     | 27,483   | 0,196     | 27,476   | 0,203     |
| 9               | 30,093                  | 29,975  | 0,118     | 29,968   | 0,125     | 29,958   | 0,136     | 29,949   | 0,144     |
| 10              | 34,599                  | 34,593  | 0,006     | 34,583   | 0,017     | 34,565   | 0,034     | 34,551   | 0,048     |
| 11              | 37,013                  | 36,954  | 0,059     | 36,937   | 0,076     | 36,915   | 0,098     | 36,895   | 0,118     |

Tabela A.98 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,977   | 0,077     | 0,994    | 0,094     | 1,011    | 0,111     | 1,034    | 0,134     |
| 14              | 2,05                    | 2,197   | 0,147     | 2,218    | 0,168     | 2,237    | 0,187     | 2,263    | 0,213     |
| 16              | 1,84                    | 1,963   | 0,123     | 1,984    | 0,144     | 2,004    | 0,164     | 2,032    | 0,192     |
| 21              | 2,05                    | 2,195   | 0,145     | 2,217    | 0,167     | 2,236    | 0,186     | 2,263    | 0,213     |
| 25              | 1,87                    | 1,990   | 0,120     | 2,011    | 0,141     | 2,031    | 0,161     | 2,060    | 0,190     |
| 27              | 1,96                    | 2,091   | 0,131     | 2,114    | 0,154     | 2,134    | 0,174     | 2,163    | 0,203     |
| 30              | 2,14                    | 2,288   | 0,148     | 2,309    | 0,169     | 2,329    | 0,189     | 2,357    | 0,217     |
| 45              | 2,07                    | 2,224   | 0,154     | 2,249    | 0,179     | 2,272    | 0,202     | 2,306    | 0,236     |
| 48              | 2,10                    | 2,148   | 0,048     | 2,162    | 0,062     | 2,174    | 0,074     | 2,192    | 0,092     |
| 51              | 2,34                    | 2,494   | 0,154     | 2,518    | 0,178     | 2,540    | 0,200     | 2,573    | 0,233     |
| 52              | 2,20                    | 2,312   | 0,112     | 2,332    | 0,132     | 2,349    | 0,149     | 2,376    | 0,176     |
| 55              | 2,42                    | 2,571   | 0,151     | 2,593    | 0,173     | 2,612    | 0,192     | 2,640    | 0,220     |
| 60              | 2,38                    | 2,532   | 0,152     | 2,555    | 0,175     | 2,575    | 0,195     | 2,605    | 0,225     |
| 64              | 2,23                    | 2,351   | 0,121     | 2,374    | 0,144     | 2,396    | 0,166     | 2,428    | 0,198     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,450    | 0,150     | 2,471    | 0,171     | 2,503    | 0,203     |
| 72              | 2,39                    | 2,524   | 0,134     | 2,547    | 0,157     | 2,567    | 0,177     | 2,598    | 0,208     |
| 75              | 2,56                    | 2,706   | 0,146     | 2,727    | 0,167     | 2,746    | 0,186     | 2,774    | 0,214     |
| 76              | 2,22                    | 2,261   | 0,041     | 2,274    | 0,054     | 2,285    | 0,065     | 2,302    | 0,082     |
| 79              | 2,37                    | 2,528   | 0,158     | 2,553    | 0,183     | 2,576    | 0,206     | 2,611    | 0,241     |
| 82              | 2,50                    | 2,655   | 0,155     | 2,679    | 0,179     | 2,700    | 0,200     | 2,733    | 0,233     |
| 85              | 2,58                    | 2,733   | 0,153     | 2,755    | 0,175     | 2,776    | 0,196     | 2,808    | 0,228     |
| 87              | 2,65                    | 2,800   | 0,150     | 2,822    | 0,172     | 2,842    | 0,192     | 2,872    | 0,222     |
| 90              | 2,40                    | 2,429   | 0,029     | 2,439    | 0,039     | 2,448    | 0,048     | 2,463    | 0,063     |
| 97              | 2,75                    | 2,870   | 0,120     | 2,888    | 0,138     | 2,904    | 0,154     | 2,931    | 0,181     |
| 101             | 2,96                    | 3,097   | 0,137     | 3,113    | 0,153     | 3,128    | 0,168     | 3,154    | 0,194     |
| 103             | 2,80                    | 2,795   | 0,005     | 2,798    | 0,002     | 2,800    | 0,000     | 2,807    | 0,007     |
| 107             | 3,19                    | 3,187   | 0,003     | 3,183    | 0,007     | 3,178    | 0,012     | 3,175    | 0,015     |
| 111             | 3,44                    | 3,539   | 0,099     | 3,544    | 0,104     | 3,548    | 0,108     | 3,558    | 0,118     |
| 115             | 3,67                    | 3,641   | 0,029     | 3,627    | 0,043     | 3,612    | 0,058     | 3,596    | 0,074     |
| 118             | 4,27                    | 4,251   | 0,019     | 4,224    | 0,046     | 4,195    | 0,075     | 4,160    | 0,110     |
| 123             | 2,71                    | 2,835   | 0,125     | 2,851    | 0,141     | 2,866    | 0,156     | 2,888    | 0,178     |
| 127             | 2,81                    | 2,948   | 0,138     | 2,965    | 0,155     | 2,979    | 0,169     | 3,001    | 0,191     |
| 134             | 3,08                    | 3,211   | 0,131     | 3,227    | 0,147     | 3,240    | 0,160     | 3,265    | 0,185     |

Tabela A.99 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,447   | 0,033     | 2,469    | 0,055     | 2,477    | 0,063     | 2,491    | 0,077     |
| 6               | 18,506                  | 18,317  | 0,189     | 18,340   | 0,166     | 18,345   | 0,161     | 18,359   | 0,147     |
| 7               | 22,529                  | 22,275  | 0,254     | 22,295   | 0,234     | 22,298   | 0,232     | 22,309   | 0,220     |
| 8               | 27,679                  | 27,572  | 0,107     | 27,594   | 0,085     | 27,592   | 0,087     | 27,602   | 0,077     |
| 9               | 30,093                  | 30,047  | 0,046     | 30,067   | 0,026     | 30,061   | 0,032     | 30,069   | 0,025     |
| 10              | 34,599                  | 34,657  | 0,058     | 34,673   | 0,074     | 34,657   | 0,058     | 34,657   | 0,058     |
| 11              | 37,013                  | 37,013  | 0,000     | 37,023   | 0,010     | 37,001   | 0,012     | 36,995   | 0,018     |

Tabela A.100 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,361   | 0,461     | 1,448    | 0,548     | 1,526    | 0,626     | 1,631    | 0,731     |
| 14              | 2,05                    | 2,609   | 0,559     | 2,698    | 0,648     | 2,775    | 0,725     | 2,876    | 0,826     |
| 16              | 1,84                    | 2,389   | 0,549     | 2,483    | 0,643     | 2,566    | 0,726     | 2,675    | 0,835     |
| 21              | 2,05                    | 2,602   | 0,552     | 2,690    | 0,640     | 2,767    | 0,717     | 2,868    | 0,818     |
| 25              | 1,87                    | 2,422   | 0,552     | 2,518    | 0,648     | 2,603    | 0,733     | 2,716    | 0,846     |
| 27              | 1,96                    | 2,515   | 0,555     | 2,609    | 0,649     | 2,691    | 0,731     | 2,801    | 0,841     |
| 30              | 2,14                    | 2,695   | 0,555     | 2,783    | 0,643     | 2,861    | 0,721     | 2,962    | 0,822     |
| 45              | 2,07                    | 2,635   | 0,565     | 2,729    | 0,659     | 2,812    | 0,742     | 2,924    | 0,854     |
| 48              | 2,10                    | 2,614   | 0,514     | 2,707    | 0,607     | 2,788    | 0,688     | 2,898    | 0,798     |
| 51              | 2,34                    | 2,900   | 0,560     | 2,991    | 0,651     | 3,071    | 0,731     | 3,179    | 0,839     |
| 52              | 2,20                    | 2,751   | 0,551     | 2,844    | 0,644     | 2,926    | 0,726     | 3,037    | 0,837     |
| 55              | 2,42                    | 2,985   | 0,565     | 3,073    | 0,653     | 3,150    | 0,730     | 3,252    | 0,832     |
| 60              | 2,38                    | 2,944   | 0,564     | 3,033    | 0,653     | 3,111    | 0,731     | 3,216    | 0,836     |
| 64              | 2,23                    | 2,778   | 0,548     | 2,872    | 0,642     | 2,956    | 0,726     | 3,071    | 0,841     |
| 67              | 2,30                    | 2,847   | 0,547     | 2,940    | 0,640     | 3,021    | 0,721     | 3,133    | 0,833     |
| 72              | 2,39                    | 2,936   | 0,546     | 3,026    | 0,636     | 3,105    | 0,715     | 3,212    | 0,822     |
| 75              | 2,56                    | 3,102   | 0,542     | 3,186    | 0,626     | 3,259    | 0,699     | 3,358    | 0,798     |
| 76              | 2,22                    | 2,728   | 0,508     | 2,819    | 0,599     | 2,899    | 0,679     | 3,007    | 0,787     |
| 79              | 2,37                    | 2,946   | 0,576     | 3,040    | 0,670     | 3,123    | 0,753     | 3,238    | 0,868     |
| 82              | 2,50                    | 3,063   | 0,563     | 3,153    | 0,653     | 3,232    | 0,732     | 3,342    | 0,842     |
| 85              | 2,58                    | 3,134   | 0,554     | 3,222    | 0,642     | 3,298    | 0,718     | 3,404    | 0,824     |
| 87              | 2,65                    | 3,196   | 0,546     | 3,281    | 0,631     | 3,355    | 0,705     | 3,457    | 0,807     |
| 90              | 2,40                    | 2,893   | 0,493     | 2,980    | 0,580     | 3,055    | 0,655     | 3,161    | 0,761     |
| 97              | 2,75                    | 3,280   | 0,530     | 3,363    | 0,613     | 3,435    | 0,685     | 3,543    | 0,793     |
| 101             | 2,96                    | 3,486   | 0,526     | 3,562    | 0,602     | 3,627    | 0,667     | 3,726    | 0,766     |
| 103             | 2,80                    | 3,245   | 0,445     | 3,321    | 0,521     | 3,384    | 0,584     | 3,477    | 0,677     |
| 107             | 3,19                    | 3,612   | 0,422     | 3,672    | 0,482     | 3,721    | 0,531     | 3,793    | 0,603     |
| 111             | 3,44                    | 3,899   | 0,459     | 3,956    | 0,516     | 4,002    | 0,562     | 4,072    | 0,632     |
| 115             | 3,67                    | 4,032   | 0,362     | 4,073    | 0,403     | 4,103    | 0,433     | 4,148    | 0,478     |
| 118             | 4,27                    | 4,592   | 0,322     | 4,608    | 0,338     | 4,613    | 0,343     | 4,622    | 0,352     |
| 123             | 2,71                    | 3,250   | 0,540     | 3,332    | 0,622     | 3,401    | 0,691     | 3,498    | 0,788     |
| 127             | 2,81                    | 3,353   | 0,543     | 3,432    | 0,622     | 3,498    | 0,688     | 3,591    | 0,781     |
| 134             | 3,08                    | 3,587   | 0,507     | 3,659    | 0,579     | 3,721    | 0,641     | 3,813    | 0,733     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 5 – MÉTODO DE GIRGIS

Tabela A.101 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,420                             | 0,006     | 2,420    | 0,006     | 2,401           | 0,014     |
| 6               | 18,506                  | 18,427                            | 0,079     | 18,421   | 0,085     | 18,101          | 0,405     |
| 7               | 22,529                  | 22,425                            | 0,105     | 22,417   | 0,112     | 23,329          | 0,800     |
| 8               | 27,679                  | 27,681                            | 0,002     | 27,676   | 0,003     | 30,120          | 2,441     |
| 9               | 30,093                  | 30,135                            | 0,042     | 30,131   | 0,038     | 33,291          | 3,198     |
| 10              | 34,599                  | 34,688                            | 0,089     | 34,688   | 0,089     | 39,176          | 4,577     |
| 11              | 37,013                  | 37,054                            | 0,041     | 37,054   | 0,041     | 42,270          | 5,257     |
| 13              | 30,093                  | 29,747                            | 0,346     | 29,538   | 0,555     | 31,970          | 1,877     |
| 14              | 32,507                  | 32,236                            | 0,271     | 31,988   | 0,519     | 33,844          | 1,337     |
| 17              | 34,921                  | 34,276                            | 0,645     | 33,892   | 1,029     | 35,460          | 0,539     |

Tabela A.102 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,429                             | 0,529     | 1,425    | 0,525     | 1,380           | 0,480     |
| 14              | 2,05                    | 2,804                             | 0,754     | 2,804    | 0,754     | 2,722           | 0,672     |
| 16              | 1,84                    | 2,579                             | 0,739     | 2,577    | 0,737     | 2,549           | 0,709     |
| 21              | 2,05                    | 2,808                             | 0,758     | 2,807    | 0,757     | 2,813           | 0,763     |
| 25              | 1,87                    | 2,627                             | 0,757     | 2,625    | 0,755     | 2,641           | 0,771     |
| 27              | 1,96                    | 2,728                             | 0,768     | 2,726    | 0,766     | 2,758           | 0,798     |
| 30              | 2,14                    | 2,921                             | 0,781     | 2,921    | 0,781     | 2,982           | 0,842     |
| 45              | 2,07                    | 2,887                             | 0,817     | 2,885    | 0,815     | 2,938           | 0,868     |
| 48              | 2,10                    | 2,815                             | 0,715     | 2,813    | 0,713     | 2,876           | 0,776     |
| 51              | 2,34                    | 3,186                             | 0,846     | 3,186    | 0,846     | 3,290           | 0,950     |
| 52              | 2,20                    | 2,992                             | 0,792     | 2,990    | 0,790     | 3,070           | 0,870     |
| 55              | 2,42                    | 3,250                             | 0,830     | 3,250    | 0,830     | 3,366           | 0,946     |
| 60              | 2,38                    | 3,215                             | 0,835     | 3,215    | 0,835     | 3,326           | 0,946     |
| 64              | 2,23                    | 3,055                             | 0,825     | 3,052    | 0,822     | 3,140           | 0,910     |
| 67              | 2,30                    | 3,130                             | 0,830     | 3,128    | 0,828     | 3,228           | 0,928     |
| 72              | 2,39                    | 3,225                             | 0,835     | 3,224    | 0,834     | 3,339           | 0,949     |
| 75              | 2,56                    | 3,403                             | 0,843     | 3,404    | 0,844     | 3,547           | 0,987     |
| 76              | 2,22                    | 2,940                             | 0,720     | 2,938    | 0,718     | 3,023           | 0,803     |
| 79              | 2,37                    | 3,243                             | 0,873     | 3,241    | 0,871     | 3,355           | 0,985     |
| 82              | 2,50                    | 3,372                             | 0,872     | 3,371    | 0,871     | 3,507           | 1,007     |
| 85              | 2,58                    | 3,450                             | 0,870     | 3,450    | 0,870     | 3,599           | 1,019     |
| 87              | 2,65                    | 3,518                             | 0,868     | 3,519    | 0,869     | 3,679           | 1,029     |
| 90              | 2,40                    | 3,118                             | 0,718     | 3,116    | 0,716     | 3,232           | 0,832     |
| 97              | 2,75                    | 3,598                             | 0,848     | 3,596    | 0,846     | 3,776           | 1,026     |
| 101             | 2,96                    | 3,824                             | 0,864     | 3,825    | 0,865     | 4,039           | 1,079     |
| 103             | 2,80                    | 3,497                             | 0,697     | 3,496    | 0,696     | 3,677           | 0,877     |
| 107             | 3,19                    | 3,882                             | 0,692     | 3,880    | 0,690     | 4,124           | 0,934     |
| 111             | 3,44                    | 4,270                             | 0,830     | 4,270    | 0,830     | 4,561           | 1,121     |
| 115             | 3,67                    | 4,338                             | 0,668     | 4,334    | 0,664     | 4,650           | 0,980     |
| 118             | 4,27                    | 4,956                             | 0,686     | 4,948    | 0,678     | 5,350           | 1,080     |
| 123             | 2,71                    | 3,535                             | 0,825     | 3,535    | 0,825     | 3,704           | 0,994     |
| 127             | 2,81                    | 3,649                             | 0,839     | 3,650    | 0,840     | 3,835           | 1,025     |
| 134             | 3,08                    | 3,947                             | 0,867     | 3,948    | 0,868     | 4,183           | 1,103     |

Tabela A.103 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,401   | 0,014     | 2,452            | 0,038     | 2,598            | 0,184     | 2,829            | 0,415     |
| 6                     | 18,506                  | 18,101  | 0,405     | 17,154           | 1,352     | 16,054           | 2,452     | 15,129           | 3,377     |
| 7                     | 22,529                  | 23,329  | 0,800     | 22,396           | 0,133     | 21,314           | 1,215     | 20,408           | 2,121     |
| 8                     | 27,679                  | 30,120  | 2,441     | 29,197           | 1,518     | 28,131           | 0,452     | 27,241           | 0,438     |
| 9                     | 30,093                  | 33,291  | 3,198     | 32,346           | 2,253     | 31,254           | 1,161     | 30,338           | 0,245     |
| 10                    | 34,599                  | 39,176  | 4,577     | 38,187           | 3,588     | 37,038           | 2,439     | 36,067           | 1,468     |
| 11                    | 37,013                  | 42,270  | 5,257     | 41,255           | 4,242     | 40,071           | 3,058     | 39,067           | 2,054     |
| 13                    | 30,093                  | 31,970  | 1,877     | 31,010           | 0,917     | 29,898           | 0,195     | 28,969           | 1,125     |
| 14                    | 32,507                  | 33,844  | 1,337     | 32,971           | 0,464     | 31,969           | 0,538     | 31,139           | 1,368     |
| 17                    | 34,921                  | 35,460  | 0,539     | 34,620           | 0,302     | 33,658           | 1,263     | 32,868           | 2,054     |

Tabela A.104 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 1,380   | 0,480     | 2,619            | 1,719     | 3,772            | 2,872     | 4,560            | 3,660     |
| 14                    | 2,05                    | 2,722   | 0,672     | 4,236            | 2,186     | 5,591            | 3,541     | 6,487            | 4,437     |
| 16                    | 1,84                    | 2,549   | 0,709     | 4,209            | 2,369     | 5,680            | 3,840     | 6,646            | 4,806     |
| 21                    | 2,05                    | 2,813   | 0,763     | 4,425            | 2,375     | 5,854            | 3,804     | 6,792            | 4,742     |
| 25                    | 1,87                    | 2,641   | 0,771     | 4,397            | 2,527     | 5,937            | 4,067     | 6,941            | 5,071     |
| 27                    | 1,96                    | 2,758   | 0,798     | 4,494            | 2,534     | 6,018            | 4,058     | 7,011            | 5,051     |
| 30                    | 2,14                    | 2,982   | 0,842     | 4,677            | 2,537     | 6,165            | 4,025     | 7,134            | 4,994     |
| 45                    | 2,07                    | 2,938   | 0,868     | 4,687            | 2,617     | 6,169            | 4,099     | 7,104            | 5,034     |
| 48                    | 2,10                    | 2,876   | 0,776     | 4,777            | 2,677     | 6,490            | 4,390     | 7,639            | 5,539     |
| 51                    | 2,34                    | 3,290   | 0,950     | 5,086            | 2,746     | 6,606            | 4,266     | 7,564            | 5,224     |
| 52                    | 2,20                    | 3,070   | 0,870     | 4,930            | 2,730     | 6,547            | 4,347     | 7,595            | 5,395     |
| 55                    | 2,42                    | 3,366   | 0,946     | 5,164            | 2,744     | 6,730            | 4,310     | 7,745            | 5,325     |
| 60                    | 2,38                    | 3,326   | 0,946     | 5,125            | 2,745     | 6,676            | 4,296     | 7,672            | 5,292     |
| 64                    | 2,23                    | 3,140   | 0,910     | 5,003            | 2,773     | 6,591            | 4,361     | 7,602            | 5,372     |
| 67                    | 2,30                    | 3,228   | 0,928     | 5,077            | 2,777     | 6,655            | 4,355     | 7,658            | 5,358     |
| 72                    | 2,39                    | 3,339   | 0,949     | 5,168            | 2,778     | 6,729            | 4,339     | 7,721            | 5,331     |
| 75                    | 2,56                    | 3,547   | 0,987     | 5,336            | 2,776     | 6,863            | 4,303     | 7,834            | 5,274     |
| 76                    | 2,22                    | 3,023   | 0,803     | 4,950            | 2,730     | 6,684            | 4,464     | 7,846            | 5,626     |
| 79                    | 2,37                    | 3,355   | 0,985     | 5,229            | 2,859     | 6,812            | 4,442     | 7,808            | 5,438     |
| 82                    | 2,50                    | 3,507   | 1,007     | 5,360            | 2,860     | 6,924            | 4,424     | 7,909            | 5,409     |
| 85                    | 2,58                    | 3,599   | 1,019     | 5,436            | 2,856     | 6,987            | 4,407     | 7,963            | 5,383     |
| 87                    | 2,65                    | 3,679   | 1,029     | 5,500            | 2,850     | 7,038            | 4,388     | 8,006            | 5,356     |
| 90                    | 2,40                    | 3,232   | 0,832     | 5,174            | 2,774     | 6,919            | 4,519     | 8,087            | 5,687     |
| 97                    | 2,75                    | 3,776   | 1,026     | 5,656            | 2,906     | 7,263            | 4,513     | 8,289            | 5,539     |
| 101                   | 2,96                    | 4,039   | 1,079     | 5,866            | 2,906     | 7,430            | 4,470     | 8,427            | 5,467     |
| 103                   | 2,80                    | 3,677   | 0,877     | 5,609            | 2,809     | 7,344            | 4,544     | 8,504            | 5,704     |
| 107                   | 3,19                    | 4,124   | 0,934     | 5,995            | 2,805     | 7,675            | 4,485     | 8,798            | 5,608     |
| 111                   | 3,44                    | 4,561   | 1,121     | 6,318            | 2,878     | 7,834            | 4,394     | 8,809            | 5,369     |
| 115                   | 3,67                    | 4,650   | 0,980     | 6,417            | 2,747     | 8,009            | 4,339     | 9,074            | 5,404     |
| 118                   | 4,27                    | 5,350   | 1,080     | 6,964            | 2,694     | 8,423            | 4,153     | 9,402            | 5,132     |
| 123                   | 2,71                    | 3,704   | 0,994     | 5,548            | 2,838     | 7,164            | 4,454     | 8,217            | 5,507     |
| 127                   | 2,81                    | 3,835   | 1,025     | 5,653            | 2,843     | 7,245            | 4,435     | 8,284            | 5,474     |
| 134                   | 3,08                    | 4,183   | 1,103     | 5,989            | 2,909     | 7,522            | 4,442     | 8,491            | 5,411     |

Tabela A.105 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,401   | 0,014     | 2,404    | 0,010     | 2,408    | 0,006     | 2,412    | 0,002     |
| 6               | 18,506                  | 18,101  | 0,405     | 18,119   | 0,387     | 18,138   | 0,369     | 18,156   | 0,351     |
| 7               | 22,529                  | 23,329  | 0,800     | 23,348   | 0,819     | 23,369   | 0,840     | 23,390   | 0,861     |
| 8               | 27,679                  | 30,120  | 2,441     | 30,144   | 2,465     | 30,169   | 2,490     | 30,193   | 2,514     |
| 9               | 30,093                  | 33,291  | 3,198     | 33,313   | 3,220     | 33,337   | 3,244     | 33,360   | 3,267     |
| 10              | 34,599                  | 39,176  | 4,577     | 39,189   | 4,590     | 39,203   | 4,604     | 39,216   | 4,617     |
| 11              | 37,013                  | 42,270  | 5,257     | 42,274   | 5,261     | 42,280   | 5,267     | 42,284   | 5,271     |
| 13              | 30,093                  | 31,970  | 1,877     | 31,873   | 1,780     | 31,866   | 1,773     | 31,814   | 1,721     |
| 14              | 32,507                  | 33,844  | 1,337     | 33,796   | 1,289     | 33,878   | 1,371     | 33,892   | 1,385     |
| 17              | 34,921                  | 35,460  | 0,539     | 35,356   | 0,435     | 35,485   | 0,564     | 35,493   | 0,572     |

Tabela A.106 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,380   | 0,480     | 1,466    | 0,566     | 1,541    | 0,641     | 1,633    | 0,733     |
| 14              | 2,05                    | 2,722   | 0,672     | 2,855    | 0,805     | 2,969    | 0,919     | 3,110    | 1,060     |
| 16              | 1,84                    | 2,549   | 0,709     | 2,682    | 0,842     | 2,798    | 0,958     | 2,944    | 1,104     |
| 21              | 2,05                    | 2,813   | 0,763     | 2,945    | 0,895     | 3,058    | 1,008     | 3,197    | 1,147     |
| 25              | 1,87                    | 2,641   | 0,771     | 2,779    | 0,909     | 2,900    | 1,030     | 3,054    | 1,184     |
| 27              | 1,96                    | 2,758   | 0,798     | 2,896    | 0,936     | 3,016    | 1,056     | 3,168    | 1,208     |
| 30              | 2,14                    | 2,982   | 0,842     | 3,118    | 0,978     | 3,235    | 1,095     | 3,381    | 1,421     |
| 45              | 2,07                    | 2,938   | 0,868     | 3,088    | 1,018     | 3,220    | 1,150     | 3,392    | 1,322     |
| 48              | 2,10                    | 2,876   | 0,776     | 3,009    | 0,909     | 3,123    | 1,023     | 3,272    | 1,172     |
| 51              | 2,34                    | 3,290   | 0,950     | 3,445    | 1,105     | 3,581    | 1,241     | 3,761    | 1,421     |
| 52              | 2,20                    | 3,070   | 0,870     | 3,216    | 1,016     | 3,343    | 1,143     | 3,510    | 1,310     |
| 55              | 2,42                    | 3,366   | 0,946     | 3,512    | 1,092     | 3,637    | 1,217     | 3,799    | 1,379     |
| 60              | 2,38                    | 3,326   | 0,946     | 3,475    | 1,095     | 3,604    | 1,224     | 3,772    | 1,392     |
| 64              | 2,23                    | 3,140   | 0,910     | 3,295    | 1,065     | 3,431    | 1,201     | 3,614    | 1,384     |
| 67              | 2,30                    | 3,228   | 0,928     | 3,382    | 1,082     | 3,518    | 1,218     | 3,698    | 1,398     |
| 72              | 2,39                    | 3,339   | 0,949     | 3,492    | 1,102     | 3,626    | 1,236     | 3,804    | 1,414     |
| 75              | 2,56                    | 3,547   | 0,987     | 3,698    | 1,138     | 3,828    | 1,268     | 3,999    | 1,439     |
| 76              | 2,22                    | 3,023   | 0,803     | 3,156    | 0,936     | 3,270    | 1,050     | 3,421    | 1,201     |
| 79              | 2,37                    | 3,355   | 0,985     | 3,517    | 1,147     | 3,660    | 1,290     | 3,856    | 1,486     |
| 82              | 2,50                    | 3,507   | 1,007     | 3,667    | 1,167     | 3,808    | 1,308     | 3,999    | 1,499     |
| 85              | 2,58                    | 3,599   | 1,019     | 3,758    | 1,178     | 3,897    | 1,317     | 4,085    | 1,505     |
| 87              | 2,65                    | 3,679   | 1,029     | 3,836    | 1,186     | 3,973    | 1,323     | 4,159    | 1,509     |
| 90              | 2,40                    | 3,232   | 0,832     | 3,364    | 0,964     | 3,476    | 1,076     | 3,627    | 1,227     |
| 97              | 2,75                    | 3,776   | 1,026     | 3,929    | 1,179     | 4,061    | 1,311     | 4,255    | 1,505     |
| 101             | 2,96                    | 4,039   | 1,079     | 4,189    | 1,229     | 4,317    | 1,357     | 4,505    | 1,545     |
| 103             | 2,80                    | 3,677   | 0,877     | 3,800    | 1,000     | 3,903    | 1,103     | 4,048    | 1,248     |
| 107             | 3,19                    | 4,124   | 0,934     | 4,236    | 1,046     | 4,327    | 1,137     | 4,451    | 1,261     |
| 111             | 3,44                    | 4,561   | 1,121     | 4,694    | 1,254     | 4,803    | 1,363     | 4,957    | 1,517     |
| 115             | 3,67                    | 4,650   | 0,980     | 4,745    | 1,075     | 4,818    | 1,148     | 4,915    | 1,245     |
| 118             | 4,27                    | 5,350   | 1,080     | 5,426    | 1,156     | 5,476    | 1,206     | 5,537    | 1,267     |
| 123             | 2,71                    | 3,704   | 0,994     | 3,847    | 1,137     | 3,968    | 1,258     | 4,130    | 1,420     |
| 127             | 2,81                    | 3,835   | 1,025     | 3,977    | 1,167     | 4,096    | 1,286     | 4,256    | 1,446     |
| 134             | 3,08                    | 4,183   | 1,103     | 4,334    | 1,254     | 4,463    | 1,383     | 4,649    | 1,569     |

Tabela A.107 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,395                             | 0,019     | 2,394    | 0,020     | 2,392           | 0,022     |
| 6               | 18,506                  | 18,246                            | 0,261     | 18,236   | 0,270     | 18,198          | 0,308     |
| 7               | 22,529                  | 22,200                            | 0,329     | 22,188   | 0,341     | 22,710          | 0,181     |
| 8               | 27,679                  | 27,496                            | 0,183     | 27,487   | 0,192     | 28,716          | 1,037     |
| 9               | 30,093                  | 29,975                            | 0,118     | 29,968   | 0,125     | 31,528          | 1,435     |
| 10              | 34,599                  | 34,593                            | 0,006     | 34,590   | 0,009     | 36,768          | 2,169     |
| 11              | 37,013                  | 36,954                            | 0,059     | 36,949   | 0,064     | 39,462          | 2,449     |

Tabela A.108 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,977                             | 0,077     | 0,975    | 0,075     | 0,946           | 0,046     |
| 14              | 2,05                    | 2,197                             | 0,147     | 2,193    | 0,143     | 2,038           | 0,012     |
| 16              | 1,84                    | 1,963                             | 0,123     | 1,960    | 0,120     | 1,866           | 0,026     |
| 21              | 2,05                    | 2,195                             | 0,145     | 2,192    | 0,142     | 2,112           | 0,062     |
| 25              | 1,87                    | 1,990                             | 0,120     | 1,986    | 0,116     | 1,932           | 0,062     |
| 27              | 1,96                    | 2,091                             | 0,131     | 2,088    | 0,128     | 2,042           | 0,082     |
| 30              | 2,14                    | 2,288                             | 0,148     | 2,285    | 0,145     | 2,256           | 0,116     |
| 45              | 2,07                    | 2,224                             | 0,154     | 2,221    | 0,151     | 2,195           | 0,125     |
| 48              | 2,10                    | 2,148                             | 0,048     | 2,143    | 0,043     | 2,129           | 0,029     |
| 51              | 2,34                    | 2,494                             | 0,154     | 2,491    | 0,151     | 2,500           | 0,160     |
| 52              | 2,20                    | 2,312                             | 0,112     | 2,308    | 0,108     | 2,302           | 0,102     |
| 55              | 2,42                    | 2,571                             | 0,151     | 2,567    | 0,147     | 2,574           | 0,154     |
| 60              | 2,38                    | 2,532                             | 0,152     | 2,528    | 0,148     | 2,535           | 0,155     |
| 64              | 2,23                    | 2,351                             | 0,121     | 2,346    | 0,116     | 2,342           | 0,112     |
| 67              | 2,30                    | 2,427                             | 0,127     | 2,422    | 0,122     | 2,427           | 0,127     |
| 72              | 2,39                    | 2,524                             | 0,134     | 2,520    | 0,130     | 2,536           | 0,146     |
| 75              | 2,56                    | 2,706                             | 0,146     | 2,703    | 0,143     | 2,738           | 0,178     |
| 76              | 2,22                    | 2,261                             | 0,041     | 2,256    | 0,036     | 2,257           | 0,037     |
| 79              | 2,37                    | 2,528                             | 0,158     | 2,523    | 0,153     | 2,536           | 0,166     |
| 82              | 2,50                    | 2,655                             | 0,155     | 2,651    | 0,151     | 2,681           | 0,181     |
| 85              | 2,58                    | 2,733                             | 0,153     | 2,729    | 0,149     | 2,769           | 0,189     |
| 87              | 2,65                    | 2,800                             | 0,150     | 2,796    | 0,146     | 2,846           | 0,196     |
| 90              | 2,40                    | 2,429                             | 0,029     | 2,424    | 0,024     | 2,447           | 0,047     |
| 97              | 2,75                    | 2,870                             | 0,120     | 2,864    | 0,114     | 2,925           | 0,175     |
| 101             | 2,96                    | 3,097                             | 0,137     | 3,091    | 0,131     | 3,172           | 0,212     |
| 103             | 2,80                    | 2,795                             | 0,005     | 2,789    | 0,011     | 2,862           | 0,062     |
| 107             | 3,19                    | 3,187                             | 0,003     | 3,180    | 0,010     | 3,296           | 0,106     |
| 111             | 3,44                    | 3,539                             | 0,099     | 3,531    | 0,091     | 3,663           | 0,223     |
| 115             | 3,67                    | 3,641                             | 0,029     | 3,631    | 0,039     | 3,790           | 0,120     |
| 118             | 4,27                    | 4,251                             | 0,019     | 4,236    | 0,034     | 4,423           | 0,153     |
| 123             | 2,71                    | 2,835                             | 0,125     | 2,830    | 0,120     | 2,875           | 0,165     |
| 127             | 2,81                    | 2,948                             | 0,138     | 2,944    | 0,134     | 2,994           | 0,184     |
| 134             | 3,08                    | 3,211                             | 0,131     | 3,206    | 0,126     | 3,307           | 0,227     |

Tabela A.109 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392   | 0,022     | 2,434           | 0,020     |
| 6               | 18,506                  | 18,198  | 0,308     | 18,100          | 0,406     |
| 7               | 22,529                  | 22,710  | 0,181     | 22,613          | 0,084     |
| 8               | 27,679                  | 28,716  | 1,037     | 28,618          | 0,939     |
| 9               | 30,093                  | 31,528  | 1,435     | 31,423          | 1,330     |
| 10              | 34,599                  | 36,768  | 2,169     | 36,651          | 2,052     |
| 11              | 37,013                  | 39,462  | 2,449     | 39,339          | 2,326     |

Tabela A.110 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,946   | 0,046     | 1,206           | 0,306     |
| 14              | 2,05                    | 2,038   | 0,012     | 1,867           | 0,183     |
| 16              | 1,84                    | 1,866   | 0,026     | 1,929           | 0,089     |
| 21              | 2,05                    | 2,112   | 0,062     | 2,158           | 0,108     |
| 25              | 1,87                    | 1,932   | 0,062     | 2,089           | 0,219     |
| 27              | 1,96                    | 2,042   | 0,082     | 2,190           | 0,230     |
| 30              | 2,14                    | 2,256   | 0,116     | 2,388           | 0,248     |
| 45              | 2,07                    | 2,195   | 0,125     | 2,325           | 0,255     |
| 48              | 2,10                    | 2,129   | 0,029     | 2,322           | 0,222     |
| 51              | 2,34                    | 2,500   | 0,160     | 2,625           | 0,285     |
| 52              | 2,20                    | 2,302   | 0,102     | 2,463           | 0,263     |
| 55              | 2,42                    | 2,574   | 0,154     | 2,712           | 0,292     |
| 60              | 2,38                    | 2,535   | 0,155     | 2,669           | 0,289     |
| 64              | 2,23                    | 2,342   | 0,112     | 2,492           | 0,262     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,570           | 0,270     |
| 72              | 2,39                    | 2,536   | 0,146     | 2,670           | 0,280     |
| 75              | 2,56                    | 2,738   | 0,178     | 2,857           | 0,297     |
| 76              | 2,22                    | 2,257   | 0,037     | 2,451           | 0,231     |
| 79              | 2,37                    | 2,536   | 0,166     | 2,672           | 0,302     |
| 82              | 2,50                    | 2,681   | 0,181     | 2,807           | 0,307     |
| 85              | 2,58                    | 2,769   | 0,189     | 2,888           | 0,308     |
| 87              | 2,65                    | 2,846   | 0,196     | 2,959           | 0,309     |
| 90              | 2,40                    | 2,447   | 0,047     | 2,638           | 0,238     |
| 97              | 2,75                    | 2,925   | 0,175     | 3,052           | 0,302     |
| 101             | 2,96                    | 3,172   | 0,212     | 3,279           | 0,319     |
| 103             | 2,80                    | 2,862   | 0,062     | 3,036           | 0,236     |
| 107             | 3,19                    | 3,296   | 0,106     | 3,440           | 0,250     |
| 111             | 3,44                    | 3,663   | 0,223     | 3,738           | 0,298     |
| 115             | 3,67                    | 3,790   | 0,120     | 3,892           | 0,222     |
| 118             | 4,27                    | 4,423   | 0,153     | 4,458           | 0,188     |
| 123             | 2,71                    | 2,875   | 0,165     | 3,014           | 0,304     |
| 127             | 2,81                    | 2,994   | 0,184     | 3,123           | 0,313     |
| 134             | 3,08                    | 3,307   | 0,227     | 3,399           | 0,319     |

Tabela A.111 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392   | 0,022     | 2,395    | 0,019     | 2,396    | 0,018     | 2,399    | 0,015     |
| 6               | 18,506                  | 18,198  | 0,308     | 18,196   | 0,310     | 18,194   | 0,312     | 18,192   | 0,314     |
| 7               | 22,529                  | 22,710  | 0,181     | 22,705   | 0,176     | 22,701   | 0,172     | 22,696   | 0,167     |
| 8               | 27,679                  | 28,716  | 1,037     | 28,712   | 1,033     | 28,704   | 1,025     | 28,699   | 1,020     |
| 9               | 30,093                  | 31,528  | 1,435     | 31,523   | 1,430     | 31,513   | 1,420     | 31,505   | 1,412     |
| 10              | 34,599                  | 36,768  | 2,169     | 36,760   | 2,161     | 36,741   | 2,142     | 36,727   | 2,128     |
| 11              | 37,013                  | 39,462  | 2,449     | 39,448   | 2,435     | 39,423   | 2,410     | 39,404   | 2,391     |

Tabela A.112 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Girgis para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,946   | 0,046     | 0,964    | 0,064     | 0,982    | 0,082     | 2,813    | 1,913     |
| 14              | 2,05                    | 2,038   | 0,012     | 2,066    | 0,016     | 2,092    | 0,042     | 3,408    | 1,358     |
| 16              | 1,84                    | 1,866   | 0,026     | 1,892    | 0,052     | 1,916    | 0,076     | 3,246    | 1,406     |
| 21              | 2,05                    | 2,112   | 0,062     | 2,139    | 0,089     | 2,163    | 0,113     | 3,551    | 1,501     |
| 25              | 1,87                    | 1,932   | 0,062     | 1,958    | 0,088     | 1,982    | 0,112     | 3,335    | 1,465     |
| 27              | 1,96                    | 2,042   | 0,082     | 2,068    | 0,108     | 2,093    | 0,133     | 3,473    | 1,513     |
| 30              | 2,14                    | 2,256   | 0,116     | 2,282    | 0,142     | 2,306    | 0,166     | 3,710    | 1,570     |
| 45              | 2,07                    | 2,195   | 0,125     | 2,223    | 0,153     | 2,249    | 0,179     | 3,997    | 1,927     |
| 48              | 2,10                    | 2,129   | 0,029     | 2,147    | 0,047     | 2,164    | 0,064     | 2,849    | 0,749     |
| 51              | 2,34                    | 2,500   | 0,160     | 2,527    | 0,187     | 2,553    | 0,213     | 4,120    | 1,780     |
| 52              | 2,20                    | 2,302   | 0,102     | 2,325    | 0,125     | 2,347    | 0,147     | 3,472    | 1,272     |
| 55              | 2,42                    | 2,574   | 0,154     | 2,600    | 0,180     | 2,624    | 0,204     | 3,964    | 1,544     |
| 60              | 2,38                    | 2,535   | 0,155     | 2,562    | 0,182     | 2,586    | 0,206     | 4,001    | 1,621     |
| 64              | 2,23                    | 2,342   | 0,112     | 2,369    | 0,139     | 2,394    | 0,164     | 3,808    | 1,578     |
| 67              | 2,30                    | 2,427   | 0,127     | 2,454    | 0,154     | 2,479    | 0,179     | 3,879    | 1,579     |
| 72              | 2,39                    | 2,536   | 0,146     | 2,562    | 0,172     | 2,586    | 0,196     | 3,973    | 1,583     |
| 75              | 2,56                    | 2,738   | 0,178     | 2,763    | 0,203     | 2,786    | 0,226     | 4,157    | 1,597     |
| 76              | 2,22                    | 2,257   | 0,037     | 2,274    | 0,054     | 2,290    | 0,070     | 2,924    | 0,704     |
| 79              | 2,37                    | 2,536   | 0,166     | 2,565    | 0,195     | 2,591    | 0,221     | 4,147    | 1,777     |
| 82              | 2,50                    | 2,681   | 0,181     | 2,708    | 0,208     | 2,733    | 0,233     | 4,220    | 1,720     |
| 85              | 2,58                    | 2,769   | 0,189     | 2,795    | 0,215     | 2,820    | 0,240     | 4,269    | 1,689     |
| 87              | 2,65                    | 2,846   | 0,196     | 2,871    | 0,221     | 2,894    | 0,244     | 4,313    | 1,663     |
| 90              | 2,40                    | 2,447   | 0,047     | 2,462    | 0,062     | 2,475    | 0,075     | 3,042    | 0,642     |
| 97              | 2,75                    | 2,925   | 0,175     | 2,947    | 0,197     | 2,967    | 0,217     | 4,129    | 1,379     |
| 101             | 2,96                    | 3,172   | 0,212     | 3,192    | 0,232     | 3,211    | 0,251     | 4,469    | 1,509     |
| 103             | 2,80                    | 2,862   | 0,062     | 2,869    | 0,069     | 2,876    | 0,076     | 3,319    | 0,519     |
| 107             | 3,19                    | 3,296   | 0,106     | 3,297    | 0,107     | 3,296    | 0,106     | 3,727    | 0,537     |
| 111             | 3,44                    | 3,663   | 0,223     | 3,673    | 0,233     | 3,681    | 0,241     | 4,792    | 1,352     |
| 115             | 3,67                    | 3,790   | 0,120     | 3,781    | 0,111     | 3,770    | 0,100     | 4,272    | 0,602     |
| 118             | 4,27                    | 4,423   | 0,153     | 4,402    | 0,132     | 4,378    | 0,108     | 5,246    | 0,976     |
| 123             | 2,71                    | 2,875   | 0,165     | 2,896    | 0,186     | 2,915    | 0,205     | 4,017    | 1,307     |
| 127             | 2,81                    | 2,994   | 0,184     | 3,016    | 0,206     | 3,035    | 0,225     | 4,228    | 1,418     |
| 134             | 3,08                    | 3,307   | 0,227     | 3,326    | 0,246     | 3,344    | 0,264     | 4,585    | 1,505     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE WARRINGTON

Tabela A.113 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392   | 0,022     | 2,325            | 0,089     | 2,125            | 0,289     | 1,805            | 0,609     |
| 6               | 18,506                  | 18,395  | 0,111     | 18,291           | 0,215     | 18,032           | 0,474     | 17,652           | 0,854     |
| 7               | 22,529                  | 22,400  | 0,129     | 22,276           | 0,253     | 21,987           | 0,543     | 21,576           | 0,953     |
| 8               | 27,679                  | 27,645  | 0,034     | 27,475           | 0,204     | 27,126           | 0,553     | 26,658           | 1,021     |
| 9               | 30,093                  | 30,092  | 0,001     | 29,881           | 0,212     | 29,479           | 0,614     | 28,958           | 1,135     |
| 10              | 34,599                  | 34,634  | 0,035     | 34,350           | 0,249     | 33,853           | 0,746     | 33,241           | 1,358     |
| 11              | 37,013                  | 37,008  | 0,005     | 36,689           | 0,324     | 36,145           | 0,868     | 35,487           | 1,527     |
| 13              | 30,093                  | 29,983  | 0,110     | 29,716           | 0,377     | 29,252           | 0,841     | 28,671           | 1,422     |
| 14              | 32,507                  | 31,992  | 0,516     | 31,617           | 0,891     | 31,014           | 1,493     | 30,300           | 2,207     |
| 17              | 34,921                  | 33,919  | 1,002     | 33,450           | 1,471     | 32,727           | 2,194     | 31,896           | 3,025     |

Tabela A.114 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,051   | 0,151     | 2,776            | 1,876     | 4,775            | 3,875     | 6,129            | 5,229     |
| 14              | 2,05                    | 2,025   | 0,025     | 3,528            | 1,478     | 5,339            | 3,289     | 6,581            | 4,531     |
| 16              | 1,84                    | 1,851   | 0,011     | 3,424            | 1,584     | 5,283            | 3,443     | 6,549            | 4,709     |
| 21              | 2,05                    | 2,020   | 0,030     | 3,522            | 1,472     | 5,338            | 3,288     | 6,583            | 4,533     |
| 25              | 1,87                    | 1,873   | 0,003     | 3,453            | 1,583     | 5,314            | 3,444     | 6,579            | 4,709     |
| 27              | 1,96                    | 1,947   | 0,013     | 3,497            | 1,537     | 5,340            | 3,380     | 6,595            | 4,635     |
| 30              | 2,14                    | 2,090   | 0,050     | 3,578            | 1,438     | 5,383            | 3,243     | 6,622            | 4,482     |
| 45              | 2,07                    | 2,031   | 0,039     | 3,561            | 1,491     | 5,403            | 3,333     | 6,661            | 4,591     |
| 48              | 2,10                    | 2,036   | 0,064     | 3,563            | 1,463     | 5,381            | 3,281     | 6,617            | 4,517     |
| 51              | 2,34                    | 2,239   | 0,101     | 3,699            | 1,359     | 5,497            | 3,157     | 6,731            | 4,391     |
| 52              | 2,20                    | 2,128   | 0,072     | 3,633            | 1,433     | 5,448            | 3,248     | 6,688            | 4,488     |
| 55              | 2,42                    | 2,310   | 0,110     | 3,744            | 1,324     | 5,510            | 3,090     | 6,727            | 4,307     |
| 60              | 2,38                    | 2,276   | 0,104     | 3,723            | 1,343     | 5,501            | 3,121     | 6,724            | 4,344     |
| 64              | 2,23                    | 2,150   | 0,080     | 3,652            | 1,422     | 5,459            | 3,229     | 6,692            | 4,462     |
| 67              | 2,30                    | 2,205   | 0,096     | 3,683            | 1,383     | 5,476            | 3,176     | 6,703            | 4,403     |
| 72              | 2,39                    | 2,274   | 0,116     | 3,721            | 1,331     | 5,496            | 3,106     | 6,716            | 4,326     |
| 75              | 2,56                    | 2,404   | 0,156     | 3,791            | 1,231     | 5,533            | 2,973     | 6,738            | 4,178     |
| 76              | 2,22                    | 2,128   | 0,092     | 3,626            | 1,406     | 5,424            | 3,204     | 6,650            | 4,430     |
| 79              | 2,37                    | 2,268   | 0,102     | 3,740            | 1,370     | 5,536            | 3,166     | 6,766            | 4,396     |
| 82              | 2,50                    | 2,363   | 0,137     | 3,790            | 1,290     | 5,563            | 3,063     | 6,783            | 4,283     |
| 85              | 2,58                    | 2,420   | 0,160     | 3,820            | 1,240     | 5,578            | 2,998     | 6,793            | 4,213     |
| 87              | 2,65                    | 2,470   | 0,180     | 3,845            | 1,195     | 5,591            | 2,941     | 6,800            | 4,150     |
| 90              | 2,40                    | 2,261   | 0,139     | 3,709            | 1,309     | 5,477            | 3,077     | 6,689            | 4,289     |
| 97              | 2,75                    | 2,542   | 0,208     | 3,897            | 1,147     | 5,621            | 2,871     | 6,816            | 4,066     |
| 101             | 2,96                    | 2,701   | 0,259     | 3,988            | 1,028     | 5,671            | 2,711     | 6,847            | 3,887     |
| 103             | 2,80                    | 2,550   | 0,250     | 3,878            | 1,078     | 5,578            | 2,778     | 6,759            | 3,959     |
| 107             | 3,19                    | 2,839   | 0,351     | 4,043            | 0,853     | 5,671            | 2,481     | 6,820            | 3,630     |
| 111             | 3,44                    | 3,034   | 0,406     | 4,172            | 0,732     | 5,759            | 2,319     | 6,890            | 3,450     |
| 115             | 3,67                    | 3,172   | 0,498     | 4,234            | 0,564     | 5,775            | 2,105     | 6,884            | 3,214     |
| 118             | 4,27                    | 3,582   | 0,688     | 4,500            | 0,230     | 5,928            | 1,658     | 6,982            | 2,712     |
| 123             | 2,71                    | 2,521   | 0,189     | 3,879            | 1,169     | 5,595            | 2,885     | 6,785            | 4,075     |
| 127             | 2,81                    | 2,600   | 0,210     | 3,928            | 1,118     | 5,623            | 2,813     | 6,803            | 3,993     |
| 134             | 3,08                    | 2,782   | 0,298     | 4,027            | 0,947     | 5,689            | 2,609     | 6,857            | 3,777     |

Tabela A.115 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |           |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50 % CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392   | 0,022     | 2,391    | 0,023     | 2,393     | 0,022     | 2,393    | 0,021     |
| 6               | 18,506                  | 18,395  | 0,111     | 18,391   | 0,115     | 18,397    | 0,110     | 18,397   | 0,109     |
| 7               | 22,529                  | 22,400  | 0,129     | 22,395   | 0,134     | 22,402    | 0,128     | 22,402   | 0,128     |
| 8               | 27,679                  | 27,645  | 0,034     | 27,634   | 0,045     | 27,638    | 0,041     | 27,634   | 0,045     |
| 9               | 30,093                  | 30,092  | 0,001     | 30,075   | 0,018     | 30,076    | 0,017     | 30,067   | 0,026     |
| 10              | 34,599                  | 34,634  | 0,035     | 34,602   | 0,003     | 34,589    | 0,010     | 34,566   | 0,033     |
| 11              | 37,013                  | 37,008  | 0,005     | 36,967   | 0,046     | 36,947    | 0,066     | 36,916   | 0,097     |
| 13              | 30,093                  | 29,983  | 0,110     | 29,908   | 0,185     | 29,918    | 0,175     | 29,885   | 0,208     |
| 14              | 32,507                  | 31,992  | 0,516     | 31,831   | 0,677     | 31,854    | 0,653     | 31,785   | 0,722     |
| 17              | 34,921                  | 33,919  | 1,002     | 33,655   | 1,266     | 33,702    | 1,219     | 33,595   | 1,326     |

Tabela A.116 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,051   | 0,151     | 1,073    | 0,173     | 1,090    | 0,190     | 1,111    | 0,211     |
| 14              | 2,05                    | 2,025   | 0,025     | 2,009    | 0,041     | 1,991    | 0,059     | 1,961    | 0,089     |
| 16              | 1,84                    | 1,851   | 0,011     | 1,844    | 0,004     | 1,835    | 0,005     | 1,818    | 0,022     |
| 21              | 2,05                    | 2,020   | 0,030     | 2,003    | 0,047     | 1,985    | 0,065     | 1,955    | 0,095     |
| 25              | 1,87                    | 1,873   | 0,003     | 1,866    | 0,004     | 1,857    | 0,014     | 1,840    | 0,030     |
| 27              | 1,96                    | 1,947   | 0,013     | 1,936    | 0,024     | 1,922    | 0,038     | 1,900    | 0,060     |
| 30              | 2,14                    | 2,090   | 0,050     | 2,070    | 0,070     | 2,048    | 0,092     | 2,015    | 0,125     |
| 45              | 2,07                    | 2,031   | 0,039     | 2,014    | 0,056     | 1,996    | 0,074     | 1,968    | 0,102     |
| 48              | 2,10                    | 2,036   | 0,064     | 2,020    | 0,080     | 2,003    | 0,097     | 1,977    | 0,123     |
| 51              | 2,34                    | 2,239   | 0,101     | 2,210    | 0,130     | 2,181    | 0,159     | 2,139    | 0,201     |
| 52              | 2,20                    | 2,128   | 0,072     | 2,107    | 0,093     | 2,084    | 0,116     | 2,052    | 0,148     |
| 55              | 2,42                    | 2,310   | 0,110     | 2,278    | 0,142     | 2,247    | 0,174     | 2,200    | 0,220     |
| 60              | 2,38                    | 2,276   | 0,104     | 2,246    | 0,134     | 2,216    | 0,164     | 2,172    | 0,208     |
| 64              | 2,23                    | 2,150   | 0,080     | 2,128    | 0,102     | 2,105    | 0,125     | 2,072    | 0,158     |
| 67              | 2,30                    | 2,205   | 0,096     | 2,179    | 0,121     | 2,153    | 0,147     | 2,116    | 0,184     |
| 72              | 2,39                    | 2,274   | 0,116     | 2,244    | 0,146     | 2,214    | 0,176     | 2,171    | 0,219     |
| 75              | 2,56                    | 2,404   | 0,156     | 2,365    | 0,195     | 2,327    | 0,233     | 2,272    | 0,288     |
| 76              | 2,22                    | 2,128   | 0,092     | 2,107    | 0,113     | 2,085    | 0,135     | 2,053    | 0,167     |
| 79              | 2,37                    | 2,268   | 0,102     | 2,239    | 0,131     | 2,210    | 0,160     | 2,170    | 0,200     |
| 82              | 2,50                    | 2,363   | 0,137     | 2,327    | 0,173     | 2,292    | 0,208     | 2,243    | 0,257     |
| 85              | 2,58                    | 2,420   | 0,160     | 2,381    | 0,199     | 2,342    | 0,238     | 2,288    | 0,292     |
| 87              | 2,65                    | 2,470   | 0,180     | 2,427    | 0,223     | 2,385    | 0,265     | 2,326    | 0,324     |
| 90              | 2,40                    | 2,261   | 0,139     | 2,232    | 0,168     | 2,202    | 0,198     | 2,162    | 0,239     |
| 97              | 2,75                    | 2,542   | 0,208     | 2,494    | 0,256     | 2,449    | 0,301     | 2,388    | 0,362     |
| 101             | 2,96                    | 2,701   | 0,259     | 2,643    | 0,317     | 2,587    | 0,373     | 2,513    | 0,447     |
| 103             | 2,80                    | 2,550   | 0,250     | 2,501    | 0,299     | 2,453    | 0,347     | 2,390    | 0,410     |
| 107             | 3,19                    | 2,839   | 0,351     | 2,768    | 0,422     | 2,701    | 0,489     | 2,612    | 0,578     |
| 111             | 3,44                    | 3,034   | 0,406     | 2,950    | 0,491     | 2,870    | 0,570     | 2,764    | 0,676     |
| 115             | 3,67                    | 3,172   | 0,498     | 3,075    | 0,596     | 2,984    | 0,686     | 2,863    | 0,807     |
| 118             | 4,27                    | 3,582   | 0,688     | 3,448    | 0,822     | 3,325    | 0,945     | 3,163    | 1,107     |
| 123             | 2,71                    | 2,521   | 0,189     | 2,476    | 0,234     | 2,432    | 0,278     | 2,372    | 0,339     |
| 127             | 2,81                    | 2,600   | 0,210     | 2,550    | 0,260     | 2,501    | 0,309     | 2,434    | 0,376     |
| 134             | 3,08                    | 2,782   | 0,298     | 2,717    | 0,363     | 2,655    | 0,425     | 2,572    | 0,508     |

Tabela A.117 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 20  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,325  | 0,089     | 2,317    | 0,097     | 2,329    | 0,085     | 2,331    | 0,083     |
| 6               | 18,506                  | 18,291   | 0,215     | 18,261   | 0,245     | 18,280   | 0,226     | 18,274   | 0,233     |
| 7               | 22,529                  | 22,276   | 0,253     | 22,238   | 0,292     | 22,255   | 0,274     | 22,244   | 0,285     |
| 8               | 27,679                  | 27,475   | 0,204     | 27,419   | 0,260     | 27,429   | 0,250     | 27,406   | 0,273     |
| 9               | 30,093                  | 29,881   | 0,212     | 29,810   | 0,283     | 29,809   | 0,284     | 29,773   | 0,320     |
| 10              | 34,599                  | 34,350   | 0,249     | 34,246   | 0,353     | 34,222   | 0,377     | 34,158   | 0,441     |
| 11              | 37,013                  | 36,689   | 0,324     | 36,568   | 0,446     | 36,531   | 0,483     | 36,451   | 0,562     |
| 13              | 30,093                  | 29,716   | 0,377     | 29,586   | 0,507     | 29,613   | 0,480     | 29,561   | 0,532     |
| 14              | 32,507                  | 31,617   | 0,891     | 31,391   | 1,116     | 31,439   | 1,068     | 31,351   | 1,156     |
| 17              | 34,921                  | 33,450   | 1,471     | 33,115   | 1,807     | 33,196   | 1,725     | 33,070   | 1,851     |

Tabela A.118 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 20  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 20 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 2,776  | 1,876     | 2,811    | 1,911     | 2,801    | 1,901     | 2,749    | 1,849     |
| 14              | 2,05                    | 3,528  | 1,478     | 3,496    | 1,446     | 3,429    | 1,379     | 3,302    | 1,252     |
| 16              | 1,84                    | 3,424  | 1,584     | 3,408    | 1,568     | 3,354    | 1,514     | 3,244    | 1,404     |
| 21              | 2,05                    | 3,522  | 1,472     | 3,491    | 1,441     | 3,425    | 1,375     | 3,299    | 1,249     |
| 25              | 1,87                    | 3,453  | 1,583     | 3,437    | 1,567     | 3,383    | 1,513     | 3,272    | 1,402     |
| 27              | 1,96                    | 3,497  | 1,537     | 3,475    | 1,515     | 3,415    | 1,455     | 3,298    | 1,338     |
| 30              | 2,14                    | 3,578  | 1,438     | 3,542    | 1,402     | 3,472    | 1,332     | 3,343    | 1,203     |
| 45              | 2,07                    | 3,561  | 1,491     | 3,534    | 1,464     | 3,470    | 1,400     | 3,349    | 1,279     |
| 48              | 2,10                    | 3,563  | 1,463     | 3,536    | 1,436     | 3,472    | 1,372     | 3,353    | 1,253     |
| 51              | 2,34                    | 3,699  | 1,359     | 3,656    | 1,316     | 3,579    | 1,239     | 3,444    | 1,104     |
| 52              | 2,20                    | 3,633  | 1,433     | 3,599    | 1,399     | 3,530    | 1,330     | 3,403    | 1,203     |
| 55              | 2,42                    | 3,744  | 1,324     | 3,693    | 1,273     | 3,609    | 1,189     | 3,466    | 1,046     |
| 60              | 2,38                    | 3,723  | 1,343     | 3,675    | 1,295     | 3,595    | 1,215     | 3,455    | 1,075     |
| 64              | 2,23                    | 3,652  | 1,422     | 3,617    | 1,387     | 3,546    | 1,316     | 3,419    | 1,189     |
| 67              | 2,30                    | 3,683  | 1,383     | 3,642    | 1,342     | 3,568    | 1,268     | 3,436    | 1,136     |
| 72              | 2,39                    | 3,721  | 1,331     | 3,674    | 1,284     | 3,594    | 1,204     | 3,457    | 1,067     |
| 75              | 2,56                    | 3,791  | 1,231     | 3,732    | 1,172     | 3,643    | 1,083     | 3,494    | 0,934     |
| 76              | 2,22                    | 3,626  | 1,406     | 3,591    | 1,371     | 3,522    | 1,302     | 3,396    | 1,176     |
| 79              | 2,37                    | 3,740  | 1,370     | 3,696    | 1,326     | 3,618    | 1,248     | 3,483    | 1,113     |
| 82              | 2,50                    | 3,790  | 1,290     | 3,737    | 1,237     | 3,653    | 1,153     | 3,510    | 1,010     |
| 85              | 2,58                    | 3,820  | 1,240     | 3,762    | 1,182     | 3,674    | 1,094     | 3,526    | 0,946     |
| 87              | 2,65                    | 3,845  | 1,195     | 3,783    | 1,133     | 3,691    | 1,041     | 3,540    | 0,890     |
| 90              | 2,40                    | 3,709  | 1,309     | 3,664    | 1,264     | 3,585    | 1,185     | 3,453    | 1,053     |
| 97              | 2,75                    | 3,897  | 1,147     | 3,828    | 1,078     | 3,731    | 0,981     | 3,583    | 0,833     |
| 101             | 2,96                    | 3,988  | 1,028     | 3,904    | 0,944     | 3,795    | 0,835     | 3,633    | 0,673     |
| 103             | 2,80                    | 3,878  | 1,078     | 3,807    | 1,007     | 3,709    | 0,909     | 3,559    | 0,759     |
| 107             | 3,19                    | 4,043  | 0,853     | 3,945    | 0,755     | 3,826    | 0,636     | 3,650    | 0,460     |
| 111             | 3,44                    | 4,172  | 0,732     | 4,056    | 0,616     | 3,922    | 0,482     | 3,728    | 0,288     |
| 115             | 3,67                    | 4,234  | 0,564     | 4,103    | 0,433     | 3,958    | 0,288     | 3,752    | 0,082     |
| 118             | 4,27                    | 4,500  | 0,230     | 4,324    | 0,054     | 4,144    | 0,127     | 3,896    | 0,374     |
| 123             | 2,71                    | 3,879  | 1,169     | 3,810    | 1,100     | 3,713    | 1,003     | 3,557    | 0,847     |
| 127             | 2,81                    | 3,928  | 1,118     | 3,851    | 1,041     | 3,748    | 0,938     | 3,584    | 0,774     |
| 134             | 3,08                    | 4,027  | 0,947     | 3,936    | 0,856     | 3,822    | 0,742     | 3,652    | 0,572     |

Tabela A.119 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 40 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,125  | 0,289     | 2,104    | 0,310     | 2,146    | 0,268     | 2,157    | 0,257     |
| 6               | 18,506                  | 18,032   | 0,474     | 17,964   | 0,542     | 18,014   | 0,492     | 18,006   | 0,501     |
| 7               | 22,529                  | 21,987   | 0,543     | 21,901   | 0,628     | 21,948   | 0,581     | 21,929   | 0,601     |
| 8               | 27,679                  | 27,126   | 0,553     | 27,008   | 0,671     | 27,042   | 0,637     | 26,999   | 0,680     |
| 9               | 30,093                  | 29,479   | 0,614     | 29,333   | 0,760     | 29,348   | 0,745     | 29,283   | 0,810     |
| 10              | 34,599                  | 33,853   | 0,746     | 33,654   | 0,945     | 33,632   | 0,967     | 33,523   | 1,076     |
| 11              | 37,013                  | 36,145   | 0,868     | 35,918   | 1,095     | 35,875   | 1,138     | 35,742   | 1,271     |
| 13              | 30,093                  | 29,252   | 0,841     | 29,049   | 1,044     | 29,113   | 0,981     | 29,043   | 1,050     |
| 14              | 32,507                  | 31,014   | 1,493     | 30,704   | 1,803     | 30,800   | 1,707     | 30,694   | 1,813     |
| 17              | 34,921                  | 32,727   | 2,194     | 32,298   | 2,623     | 32,440   | 2,481     | 32,299   | 2,622     |

Tabela A.120 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 40 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 40Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 4,775  | 3,875     | 4,558    | 3,658     | 4,326    | 3,426     | 3,997    | 3,097     |
| 14              | 2,05                    | 5,339  | 3,289     | 5,051    | 3,001     | 4,763    | 2,713     | 4,368    | 2,318     |
| 16              | 1,84                    | 5,283  | 3,443     | 5,008    | 3,168     | 4,730    | 2,890     | 4,345    | 2,505     |
| 21              | 2,05                    | 5,338  | 3,288     | 5,050    | 3,000     | 4,763    | 2,713     | 4,369    | 2,319     |
| 25              | 1,87                    | 5,314  | 3,444     | 5,038    | 3,168     | 4,757    | 2,887     | 4,370    | 2,500     |
| 27              | 1,96                    | 5,340  | 3,380     | 5,058    | 3,098     | 4,774    | 2,814     | 4,382    | 2,422     |
| 30              | 2,14                    | 5,383  | 3,243     | 5,092    | 2,952     | 4,801    | 2,661     | 4,402    | 2,262     |
| 45              | 2,07                    | 5,403  | 3,333     | 5,116    | 3,046     | 4,827    | 2,757     | 4,431    | 2,361     |
| 48              | 2,10                    | 5,381  | 3,281     | 5,094    | 2,994     | 4,806    | 2,706     | 4,412    | 2,312     |
| 51              | 2,34                    | 5,497  | 3,157     | 5,195    | 2,855     | 4,896    | 2,556     | 4,489    | 2,149     |
| 52              | 2,20                    | 5,448  | 3,248     | 5,154    | 2,954     | 4,861    | 2,661     | 4,460    | 2,260     |
| 55              | 2,42                    | 5,510  | 3,090     | 5,203    | 2,783     | 4,899    | 2,479     | 4,488    | 2,068     |
| 60              | 2,38                    | 5,501  | 3,121     | 5,196    | 2,816     | 4,895    | 2,515     | 4,486    | 2,106     |
| 64              | 2,23                    | 5,459  | 3,229     | 5,164    | 2,934     | 4,869    | 2,639     | 4,468    | 2,238     |
| 67              | 2,30                    | 5,476  | 3,176     | 5,177    | 2,877     | 4,879    | 2,579     | 4,475    | 2,175     |
| 72              | 2,39                    | 5,496  | 3,106     | 5,193    | 2,803     | 4,892    | 2,502     | 4,484    | 2,094     |
| 75              | 2,56                    | 5,533  | 2,973     | 5,221    | 2,661     | 4,914    | 2,354     | 4,500    | 1,940     |
| 76              | 2,22                    | 5,424  | 3,204     | 5,131    | 2,911     | 4,838    | 2,618     | 4,440    | 2,220     |
| 79              | 2,37                    | 5,536  | 3,166     | 5,232    | 2,862     | 4,930    | 2,560     | 4,522    | 2,152     |
| 82              | 2,50                    | 5,563  | 3,063     | 5,253    | 2,753     | 4,946    | 2,446     | 4,534    | 2,034     |
| 85              | 2,58                    | 5,578  | 2,998     | 5,264    | 2,684     | 4,956    | 2,376     | 4,541    | 1,961     |
| 87              | 2,65                    | 5,591  | 2,941     | 5,274    | 2,624     | 4,963    | 2,313     | 4,546    | 1,896     |
| 90              | 2,40                    | 5,477  | 3,077     | 5,175    | 2,775     | 4,876    | 2,476     | 4,473    | 2,073     |
| 97              | 2,75                    | 5,621  | 2,871     | 5,299    | 2,549     | 4,984    | 2,234     | 4,570    | 1,820     |
| 101             | 2,96                    | 5,671  | 2,711     | 5,337    | 2,377     | 5,014    | 2,054     | 4,592    | 1,632     |
| 103             | 2,80                    | 5,578  | 2,778     | 5,257    | 2,457     | 4,944    | 2,144     | 4,531    | 1,731     |
| 107             | 3,19                    | 5,671  | 2,481     | 5,330    | 2,140     | 5,003    | 1,813     | 4,575    | 1,385     |
| 111             | 3,44                    | 5,759  | 2,319     | 5,402    | 1,962     | 5,064    | 1,624     | 4,623    | 1,183     |
| 115             | 3,67                    | 5,775  | 2,105     | 5,410    | 1,740     | 5,066    | 1,396     | 4,619    | 0,949     |
| 118             | 4,27                    | 5,928  | 1,658     | 5,527    | 1,257     | 5,158    | 0,888     | 4,686    | 0,416     |
| 123             | 2,71                    | 5,595  | 2,885     | 5,273    | 2,563     | 4,959    | 2,249     | 4,540    | 1,830     |
| 127             | 2,81                    | 5,623  | 2,813     | 5,294    | 2,484     | 4,976    | 2,166     | 4,552    | 1,742     |
| 134             | 3,08                    | 5,689  | 2,609     | 5,351    | 2,271     | 5,025    | 1,945     | 4,598    | 1,518     |

Tabela A.121 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 1,805  | 0,609     | 1,770    | 0,644     | 1,859    | 0,555     | 1,887    | 0,527     |
| 6                     | 18,506                  | 17,652   | 0,854     | 17,545   | 0,961     | 17,644   | 0,862     | 17,639   | 0,867     |
| 7                     | 22,529                  | 21,576   | 0,953     | 21,442   | 1,087     | 21,536   | 0,993     | 21,515   | 1,014     |
| 8                     | 27,679                  | 26,658   | 1,021     | 26,477   | 1,202     | 26,551   | 1,128     | 26,498   | 1,181     |
| 9                     | 30,093                  | 28,958   | 1,135     | 28,739   | 1,354     | 28,787   | 1,307     | 28,702   | 1,391     |
| 10                    | 34,599                  | 33,241   | 1,358     | 32,948   | 1,651     | 32,947   | 1,652     | 32,803   | 1,796     |
| 11                    | 37,013                  | 35,487   | 1,527     | 35,156   | 1,857     | 35,127   | 1,886     | 34,952   | 2,061     |
| 13                    | 30,093                  | 28,671   | 1,422     | 28,395   | 1,698     | 28,513   | 1,580     | 28,434   | 1,659     |
| 14                    | 32,507                  | 30,300   | 2,207     | 29,909   | 2,598     | 30,069   | 2,438     | 29,956   | 2,551     |
| 17                    | 34,921                  | 31,896   | 3,025     | 31,379   | 3,542     | 31,598   | 3,323     | 31,452   | 3,469     |

Tabela A.122 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; resistência de falta de 60 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 60Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                         | CN   | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 6,129  | 5,229     | 5,642    | 4,742     | 5,210    | 4,310     | 4,665    | 3,765     |
| 14                    | 2,05                    | 6,581  | 4,531     | 6,029    | 3,979     | 5,548    | 3,498     | 4,947    | 2,897     |
| 16                    | 1,84                    | 6,549  | 4,709     | 6,006    | 4,166     | 5,531    | 3,691     | 4,936    | 3,096     |
| 21                    | 2,05                    | 6,583  | 4,533     | 6,031    | 3,981     | 5,551    | 3,501     | 4,950    | 2,900     |
| 25                    | 1,87                    | 6,579  | 4,709     | 6,033    | 4,163     | 5,556    | 3,686     | 4,958    | 3,088     |
| 27                    | 1,96                    | 6,595  | 4,635     | 6,046    | 4,086     | 5,566    | 3,606     | 4,965    | 3,005     |
| 30                    | 2,14                    | 6,622  | 4,482     | 6,066    | 3,926     | 5,582    | 3,442     | 4,976    | 2,836     |
| 45                    | 2,07                    | 6,661  | 4,591     | 6,105    | 4,035     | 5,619    | 3,549     | 5,013    | 2,943     |
| 48                    | 2,10                    | 6,617  | 4,517     | 6,064    | 3,964     | 5,581    | 3,481     | 4,979    | 2,879     |
| 51                    | 2,34                    | 6,731  | 4,391     | 6,164    | 3,824     | 5,670    | 3,330     | 5,055    | 2,715     |
| 52                    | 2,20                    | 6,688  | 4,488     | 6,127    | 3,927     | 5,638    | 3,438     | 5,028    | 2,828     |
| 55                    | 2,42                    | 6,727  | 4,307     | 6,156    | 3,736     | 5,660    | 3,240     | 5,044    | 2,624     |
| 60                    | 2,38                    | 6,724  | 4,344     | 6,155    | 3,775     | 5,660    | 3,280     | 5,045    | 2,665     |
| 64                    | 2,23                    | 6,692  | 4,462     | 6,130    | 3,900     | 5,640    | 3,410     | 5,030    | 2,800     |
| 67                    | 2,30                    | 6,703  | 4,403     | 6,138    | 3,838     | 5,646    | 3,346     | 5,035    | 2,735     |
| 72                    | 2,39                    | 6,716  | 4,326     | 6,148    | 3,758     | 5,654    | 3,264     | 5,040    | 2,650     |
| 75                    | 2,56                    | 6,738  | 4,178     | 6,164    | 3,604     | 5,666    | 3,106     | 5,049    | 2,489     |
| 76                    | 2,22                    | 6,650  | 4,430     | 6,091    | 3,871     | 5,604    | 3,384     | 4,999    | 2,779     |
| 79                    | 2,37                    | 6,766  | 4,396     | 6,195    | 3,825     | 5,698    | 3,328     | 5,081    | 2,711     |
| 82                    | 2,50                    | 6,783  | 4,283     | 6,208    | 3,708     | 5,708    | 3,208     | 5,088    | 2,588     |
| 85                    | 2,58                    | 6,793  | 4,213     | 6,215    | 3,635     | 5,713    | 3,133     | 5,092    | 2,512     |
| 87                    | 2,65                    | 6,800  | 4,150     | 6,220    | 3,570     | 5,717    | 3,067     | 5,095    | 2,445     |
| 90                    | 2,40                    | 6,689  | 4,289     | 6,123    | 3,723     | 5,631    | 3,231     | 5,023    | 2,623     |
| 97                    | 2,75                    | 6,816  | 4,066     | 6,232    | 3,482     | 5,726    | 2,976     | 5,108    | 2,358     |
| 101                   | 2,96                    | 6,847  | 3,887     | 6,255    | 3,295     | 5,744    | 2,784     | 5,120    | 2,160     |
| 103                   | 2,80                    | 6,759  | 3,959     | 6,179    | 3,379     | 5,677    | 2,877     | 5,062    | 2,262     |
| 107                   | 3,19                    | 6,820  | 3,630     | 6,226    | 3,036     | 5,714    | 2,524     | 5,089    | 1,899     |
| 111                   | 3,44                    | 6,890  | 3,450     | 6,283    | 2,843     | 5,762    | 2,322     | 5,127    | 1,687     |
| 115                   | 3,67                    | 6,884  | 3,214     | 6,273    | 2,603     | 5,750    | 2,080     | 5,114    | 1,444     |
| 118                   | 4,27                    | 6,982  | 2,712     | 6,344    | 2,074     | 5,805    | 1,535     | 5,151    | 0,881     |
| 123                   | 2,71                    | 6,785  | 4,075     | 6,203    | 3,493     | 5,699    | 2,989     | 5,078    | 2,368     |
| 127                   | 2,81                    | 6,803  | 3,993     | 6,216    | 3,406     | 5,709    | 2,899     | 5,085    | 2,275     |
| 134                   | 3,08                    | 6,857  | 3,777     | 6,262    | 3,182     | 5,749    | 2,669     | 5,122    | 2,042     |

Tabela A.123 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,380   | 0,034     | 2,373           | 0,041     |
| 6               | 18,506                  | 18,246  | 0,260     | 18,231          | 0,275     |
| 7               | 22,529                  | 22,208  | 0,321     | 22,189          | 0,340     |
| 8               | 27,679                  | 27,492  | 0,187     | 27,462          | 0,218     |
| 9               | 30,093                  | 29,964  | 0,129     | 29,927          | 0,166     |
| 10              | 34,599                  | 34,568  | 0,031     | 34,513          | 0,086     |
| 11              | 37,013                  | 36,932  | 0,081     | 36,869          | 0,144     |

Tabela A.124 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema com carregamento nominal e variação da resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com Variação da Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,904   | 0,004     | 1,428           | 0,528     |
| 14              | 2,05                    | 2,072   | 0,022     | 2,591           | 0,541     |
| 16              | 1,84                    | 1,850   | 0,010     | 2,373           | 0,533     |
| 21              | 2,05                    | 2,068   | 0,018     | 2,577           | 0,527     |
| 25              | 1,87                    | 1,875   | 0,005     | 2,396           | 0,526     |
| 27              | 1,96                    | 1,969   | 0,009     | 2,485           | 0,525     |
| 30              | 2,14                    | 2,154   | 0,014     | 2,655           | 0,515     |
| 45              | 2,07                    | 2,081   | 0,011     | 2,579           | 0,509     |
| 48              | 2,10                    | 2,060   | 0,040     | 2,558           | 0,458     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,815           | 0,475     |
| 52              | 2,20                    | 2,190   | 0,010     | 2,682           | 0,482     |
| 55              | 2,42                    | 2,425   | 0,005     | 2,914           | 0,494     |
| 60              | 2,38                    | 2,384   | 0,004     | 2,869           | 0,489     |
| 64              | 2,23                    | 2,213   | 0,017     | 2,706           | 0,476     |
| 67              | 2,30                    | 2,285   | 0,015     | 2,769           | 0,469     |
| 72              | 2,39                    | 2,377   | 0,013     | 2,850           | 0,460     |
| 75              | 2,56                    | 2,549   | 0,011     | 3,001           | 0,441     |
| 76              | 2,22                    | 2,172   | 0,048     | 2,661           | 0,441     |
| 79              | 2,37                    | 2,373   | 0,003     | 2,857           | 0,487     |
| 82              | 2,50                    | 2,494   | 0,006     | 2,960           | 0,460     |
| 85              | 2,58                    | 2,569   | 0,012     | 3,022           | 0,442     |
| 87              | 2,65                    | 2,633   | 0,017     | 3,076           | 0,426     |
| 90              | 2,40                    | 2,339   | 0,061     | 2,809           | 0,409     |
| 97              | 2,75                    | 2,715   | 0,035     | 3,155           | 0,405     |
| 101             | 2,96                    | 2,925   | 0,035     | 3,349           | 0,389     |
| 103             | 2,80                    | 2,704   | 0,096     | 3,127           | 0,327     |
| 107             | 3,19                    | 3,086   | 0,104     | 3,467           | 0,277     |
| 111             | 3,44                    | 3,356   | 0,085     | 3,729           | 0,289     |
| 115             | 3,67                    | 3,518   | 0,152     | 3,862           | 0,192     |
| 118             | 4,27                    | 4,067   | 0,203     | 4,412           | 0,142     |
| 123             | 2,71                    | 2,689   | 0,021     | 3,150           | 0,440     |
| 127             | 2,81                    | 2,792   | 0,018     | 3,252           | 0,442     |
| 134             | 3,08                    | 3,032   | 0,048     | 3,429           | 0,349     |

Tabela A.125 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,380   | 0,034     | 2,380    | 0,034     | 2,380    | 0,034     | 2,380    | 0,034     |
| 6               | 18,506                  | 18,246  | 0,260     | 18,245   | 0,261     | 18,243   | 0,263     | 18,242   | 0,264     |
| 7               | 22,529                  | 22,208  | 0,321     | 22,205   | 0,324     | 22,203   | 0,326     | 22,201   | 0,328     |
| 8               | 27,679                  | 27,492  | 0,187     | 27,486   | 0,193     | 27,480   | 0,200     | 27,473   | 0,206     |
| 9               | 30,093                  | 29,964  | 0,129     | 29,955   | 0,138     | 29,946   | 0,147     | 29,937   | 0,156     |
| 10              | 34,599                  | 34,568  | 0,031     | 34,551   | 0,048     | 34,534   | 0,065     | 34,517   | 0,082     |
| 11              | 37,013                  | 36,932  | 0,081     | 36,910   | 0,103     | 36,889   | 0,124     | 36,868   | 0,145     |

Tabela A.126 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 1 $\Omega$ e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,904   | 0,004     | 0,910    | 0,010     | 0,917    | 0,017     | 0,926    | 0,026     |
| 14              | 2,05                    | 2,072   | 0,022     | 2,078    | 0,028     | 2,083    | 0,033     | 2,090    | 0,040     |
| 16              | 1,84                    | 1,850   | 0,010     | 1,857    | 0,017     | 1,862    | 0,022     | 1,872    | 0,032     |
| 21              | 2,05                    | 2,068   | 0,018     | 2,072    | 0,022     | 2,077    | 0,027     | 2,083    | 0,033     |
| 25              | 1,87                    | 1,875   | 0,005     | 1,881    | 0,011     | 1,886    | 0,016     | 1,896    | 0,026     |
| 27              | 1,96                    | 1,969   | 0,009     | 1,975    | 0,015     | 1,980    | 0,020     | 1,988    | 0,028     |
| 30              | 2,14                    | 2,154   | 0,014     | 2,158    | 0,018     | 2,161    | 0,021     | 2,166    | 0,026     |
| 45              | 2,07                    | 2,081   | 0,011     | 2,085    | 0,015     | 2,088    | 0,018     | 2,094    | 0,024     |
| 48              | 2,10                    | 2,060   | 0,040     | 2,064    | 0,036     | 2,068    | 0,032     | 2,076    | 0,024     |
| 51              | 2,34                    | 2,340   | 0,000     | 2,342    | 0,002     | 2,343    | 0,003     | 2,345    | 0,005     |
| 52              | 2,20                    | 2,190   | 0,010     | 2,194    | 0,006     | 2,197    | 0,003     | 2,202    | 0,002     |
| 55              | 2,42                    | 2,425   | 0,005     | 2,427    | 0,007     | 2,428    | 0,008     | 2,432    | 0,012     |
| 60              | 2,38                    | 2,384   | 0,004     | 2,386    | 0,006     | 2,387    | 0,007     | 2,391    | 0,011     |
| 64              | 2,23                    | 2,213   | 0,017     | 2,216    | 0,014     | 2,219    | 0,011     | 2,226    | 0,005     |
| 67              | 2,30                    | 2,285   | 0,015     | 2,287    | 0,013     | 2,290    | 0,011     | 2,295    | 0,005     |
| 72              | 2,39                    | 2,377   | 0,013     | 2,378    | 0,012     | 2,379    | 0,011     | 2,383    | 0,007     |
| 75              | 2,56                    | 2,549   | 0,011     | 2,548    | 0,012     | 2,546    | 0,014     | 2,546    | 0,014     |
| 76              | 2,22                    | 2,172   | 0,048     | 2,176    | 0,044     | 2,179    | 0,041     | 2,186    | 0,034     |
| 79              | 2,37                    | 2,373   | 0,003     | 2,375    | 0,005     | 2,376    | 0,006     | 2,381    | 0,011     |
| 82              | 2,50                    | 2,494   | 0,006     | 2,494    | 0,006     | 2,494    | 0,006     | 2,496    | 0,004     |
| 85              | 2,58                    | 2,569   | 0,012     | 2,567    | 0,013     | 2,566    | 0,014     | 2,566    | 0,014     |
| 87              | 2,65                    | 2,633   | 0,017     | 2,631    | 0,019     | 2,628    | 0,022     | 2,627    | 0,023     |
| 90              | 2,40                    | 2,339   | 0,061     | 2,341    | 0,059     | 2,342    | 0,058     | 2,347    | 0,053     |
| 97              | 2,75                    | 2,715   | 0,035     | 2,712    | 0,038     | 2,709    | 0,041     | 2,709    | 0,041     |
| 101             | 2,96                    | 2,925   | 0,035     | 2,918    | 0,042     | 2,911    | 0,049     | 2,907    | 0,053     |
| 103             | 2,80                    | 2,704   | 0,096     | 2,700    | 0,100     | 2,696    | 0,104     | 2,695    | 0,105     |
| 107             | 3,19                    | 3,086   | 0,104     | 3,074    | 0,116     | 3,063    | 0,127     | 3,052    | 0,138     |
| 111             | 3,44                    | 3,356   | 0,085     | 3,338    | 0,102     | 3,320    | 0,120     | 3,302    | 0,139     |
| 115             | 3,67                    | 3,518   | 0,152     | 3,495    | 0,175     | 3,471    | 0,199     | 3,445    | 0,225     |
| 118             | 4,27                    | 4,067   | 0,203     | 4,024    | 0,246     | 3,981    | 0,289     | 3,929    | 0,341     |
| 123             | 2,71                    | 2,689   | 0,021     | 2,687    | 0,023     | 2,685    | 0,025     | 2,685    | 0,025     |
| 127             | 2,81                    | 2,792   | 0,018     | 2,788    | 0,022     | 2,785    | 0,025     | 2,783    | 0,027     |
| 134             | 3,08                    | 3,032   | 0,048     | 3,022    | 0,058     | 3,013    | 0,067     | 3,005    | 0,075     |

Tabela A.127 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,373   | 0,041     | 2,373    | 0,041     | 2,374    | 0,040     | 2,374    | 0,040     |
| 6               | 18,506                  | 18,231  | 0,275     | 18,229   | 0,278     | 18,227   | 0,279     | 18,226   | 0,280     |
| 7               | 22,529                  | 22,189  | 0,340     | 22,184   | 0,345     | 22,181   | 0,348     | 22,177   | 0,352     |
| 8               | 27,679                  | 27,462  | 0,218     | 27,452   | 0,228     | 27,443   | 0,236     | 27,434   | 0,245     |
| 9               | 30,093                  | 29,927  | 0,166     | 29,913   | 0,180     | 29,900   | 0,193     | 29,887   | 0,206     |
| 10              | 34,599                  | 34,513  | 0,086     | 34,488   | 0,111     | 34,464   | 0,135     | 34,440   | 0,159     |
| 11              | 37,013                  | 36,869  | 0,144     | 36,838   | 0,175     | 36,808   | 0,205     | 36,778   | 0,235     |

Tabela A.128 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; resistência de falta de 5 Ω e variação do carregamento nominal do sistema.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada para Resistência de Falta de 5Ω e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,428   | 0,528     | 1,520    | 0,620     | 1,599    | 0,699     | 1,704    | 0,804     |
| 14              | 2,05                    | 2,591   | 0,541     | 2,671    | 0,621     | 2,736    | 0,686     | 2,819    | 0,769     |
| 16              | 1,84                    | 2,373   | 0,533     | 2,459    | 0,619     | 2,530    | 0,690     | 2,623    | 0,783     |
| 21              | 2,05                    | 2,577   | 0,527     | 2,656    | 0,606     | 2,721    | 0,671     | 2,803    | 0,753     |
| 25              | 1,87                    | 2,396   | 0,526     | 2,482    | 0,612     | 2,555    | 0,685     | 2,649    | 0,779     |
| 27              | 1,96                    | 2,485   | 0,525     | 2,569    | 0,609     | 2,639    | 0,679     | 2,729    | 0,769     |
| 30              | 2,14                    | 2,655   | 0,515     | 2,732    | 0,592     | 2,795    | 0,655     | 2,875    | 0,735     |
| 45              | 2,07                    | 2,579   | 0,509     | 2,659    | 0,589     | 2,725    | 0,655     | 2,812    | 0,742     |
| 48              | 2,10                    | 2,558   | 0,458     | 2,639    | 0,539     | 2,706    | 0,606     | 2,796    | 0,696     |
| 51              | 2,34                    | 2,815   | 0,475     | 2,887    | 0,547     | 2,946    | 0,606     | 3,024    | 0,684     |
| 52              | 2,20                    | 2,682   | 0,482     | 2,761    | 0,561     | 2,825    | 0,625     | 2,911    | 0,711     |
| 55              | 2,42                    | 2,914   | 0,494     | 2,986    | 0,566     | 3,044    | 0,624     | 3,119    | 0,699     |
| 60              | 2,38                    | 2,869   | 0,489     | 2,942    | 0,562     | 3,000    | 0,620     | 3,077    | 0,697     |
| 64              | 2,23                    | 2,706   | 0,476     | 2,784    | 0,554     | 2,849    | 0,619     | 2,936    | 0,706     |
| 67              | 2,30                    | 2,769   | 0,469     | 2,845    | 0,545     | 2,907    | 0,607     | 2,990    | 0,690     |
| 72              | 2,39                    | 2,850   | 0,460     | 2,922    | 0,532     | 2,980    | 0,590     | 3,058    | 0,668     |
| 75              | 2,56                    | 3,001   | 0,441     | 3,065    | 0,505     | 3,116    | 0,556     | 3,183    | 0,623     |
| 76              | 2,22                    | 2,661   | 0,441     | 2,739    | 0,519     | 2,803    | 0,583     | 2,891    | 0,671     |
| 79              | 2,37                    | 2,857   | 0,487     | 2,931    | 0,561     | 2,992    | 0,622     | 3,076    | 0,706     |
| 82              | 2,50                    | 2,960   | 0,460     | 3,029    | 0,529     | 3,084    | 0,584     | 3,160    | 0,660     |
| 85              | 2,58                    | 3,022   | 0,442     | 3,087    | 0,507     | 3,140    | 0,560     | 3,211    | 0,631     |
| 87              | 2,65                    | 3,076   | 0,426     | 3,138    | 0,488     | 3,187    | 0,537     | 3,254    | 0,604     |
| 90              | 2,40                    | 2,809   | 0,409     | 2,881    | 0,481     | 2,940    | 0,540     | 3,023    | 0,623     |
| 97              | 2,75                    | 3,155   | 0,405     | 3,216    | 0,466     | 3,263    | 0,513     | 3,336    | 0,586     |
| 101             | 2,96                    | 3,349   | 0,389     | 3,401    | 0,441     | 3,439    | 0,479     | 3,500    | 0,540     |
| 103             | 2,80                    | 3,127   | 0,327     | 3,184    | 0,384     | 3,228    | 0,428     | 3,296    | 0,496     |
| 107             | 3,19                    | 3,467   | 0,277     | 3,506    | 0,316     | 3,534    | 0,344     | 3,578    | 0,388     |
| 111             | 3,44                    | 3,729   | 0,289     | 3,758    | 0,318     | 3,776    | 0,336     | 3,806    | 0,366     |
| 115             | 3,67                    | 3,862   | 0,192     | 3,880    | 0,210     | 3,887    | 0,217     | 3,902    | 0,232     |
| 118             | 4,27                    | 4,412   | 0,142     | 4,403    | 0,133     | 4,384    | 0,114     | 4,360    | 0,090     |
| 123             | 2,71                    | 3,150   | 0,440     | 3,213    | 0,503     | 3,261    | 0,551     | 3,328    | 0,618     |
| 127             | 2,81                    | 3,252   | 0,442     | 3,311    | 0,501     | 3,356    | 0,546     | 3,418    | 0,608     |
| 134             | 3,08                    | 3,429   | 0,349     | 3,474    | 0,394     | 3,507    | 0,427     | 3,558    | 0,478     |

## TABELAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 5 – MÉTODO DE WARRINGTON

Tabela A.129 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,392                             | 0,022     | 2,382    | 0,032     | 2,367           | 0,047     |
| 6               | 18,506                  | 18,395                            | 0,111     | 18,386   | 0,120     | 17,069          | 1,437     |
| 7               | 22,529                  | 22,400                            | 0,129     | 22,392   | 0,138     | 21,969          | 0,560     |
| 8               | 27,679                  | 27,645                            | 0,034     | 27,635   | 0,044     | 28,341          | 0,662     |
| 9               | 30,093                  | 30,092                            | 0,001     | 30,081   | 0,012     | 31,312          | 1,219     |
| 10              | 34,599                  | 34,634                            | 0,035     | 34,622   | 0,023     | 36,829          | 2,230     |
| 11              | 37,013                  | 37,008                            | 0,005     | 36,997   | 0,017     | 39,734          | 2,721     |
| 13              | 30,093                  | 29,983                            | 0,110     | 29,819   | 0,274     | 30,278          | 0,185     |
| 14              | 32,507                  | 31,992                            | 0,516     | 31,662   | 0,845     | 31,826          | 0,681     |
| 17              | 34,921                  | 33,919                            | 1,002     | 33,410   | 1,511     | 33,233          | 1,688     |

Tabela A.130 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 5  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,051                             | 0,151     | 1,047    | 0,147     | 1,009           | 0,109     |
| 14              | 2,05                    | 2,025                             | 0,025     | 2,021    | 0,029     | 1,820           | 0,230     |
| 16              | 1,84                    | 1,851                             | 0,011     | 1,846    | 0,006     | 1,741           | 0,100     |
| 21              | 2,05                    | 2,020                             | 0,030     | 2,016    | 0,034     | 1,936           | 0,114     |
| 25              | 1,87                    | 1,873                             | 0,003     | 1,868    | 0,002     | 1,816           | 0,054     |
| 27              | 1,96                    | 1,947                             | 0,013     | 1,942    | 0,018     | 1,901           | 0,059     |
| 30              | 2,14                    | 2,090                             | 0,050     | 2,086    | 0,054     | 2,067           | 0,074     |
| 45              | 2,07                    | 2,031                             | 0,039     | 2,026    | 0,044     | 2,000           | 0,070     |
| 48              | 2,10                    | 2,036                             | 0,064     | 2,030    | 0,070     | 2,010           | 0,090     |
| 51              | 2,34                    | 2,239                             | 0,101     | 2,234    | 0,107     | 2,243           | 0,097     |
| 52              | 2,20                    | 2,128                             | 0,072     | 2,122    | 0,078     | 2,114           | 0,086     |
| 55              | 2,42                    | 2,310                             | 0,110     | 2,305    | 0,115     | 2,322           | 0,098     |
| 60              | 2,38                    | 2,276                             | 0,104     | 2,271    | 0,109     | 2,285           | 0,096     |
| 64              | 2,23                    | 2,150                             | 0,080     | 2,143    | 0,087     | 2,140           | 0,090     |
| 67              | 2,30                    | 2,205                             | 0,096     | 2,198    | 0,102     | 2,204           | 0,096     |
| 72              | 2,39                    | 2,274                             | 0,116     | 2,269    | 0,121     | 2,285           | 0,105     |
| 75              | 2,56                    | 2,404                             | 0,156     | 2,400    | 0,160     | 2,437           | 0,123     |
| 76              | 2,22                    | 2,128                             | 0,092     | 2,121    | 0,099     | 2,116           | 0,104     |
| 79              | 2,37                    | 2,268                             | 0,102     | 2,261    | 0,109     | 2,275           | 0,095     |
| 82              | 2,50                    | 2,363                             | 0,137     | 2,357    | 0,143     | 2,387           | 0,113     |
| 85              | 2,58                    | 2,420                             | 0,160     | 2,415    | 0,165     | 2,454           | 0,126     |
| 87              | 2,65                    | 2,470                             | 0,180     | 2,465    | 0,185     | 2,513           | 0,137     |
| 90              | 2,40                    | 2,261                             | 0,139     | 2,254    | 0,146     | 2,272           | 0,128     |
| 97              | 2,75                    | 2,542                             | 0,208     | 2,533    | 0,217     | 2,594           | 0,156     |
| 101             | 2,96                    | 2,701                             | 0,259     | 2,694    | 0,266     | 2,778           | 0,182     |
| 103             | 2,80                    | 2,550                             | 0,250     | 2,541    | 0,259     | 2,607           | 0,193     |
| 107             | 3,19                    | 2,839                             | 0,351     | 2,827    | 0,363     | 2,937           | 0,253     |
| 111             | 3,44                    | 3,034                             | 0,406     | 3,025    | 0,415     | 3,161           | 0,279     |
| 115             | 3,67                    | 3,172                             | 0,498     | 3,156    | 0,514     | 3,316           | 0,354     |
| 118             | 4,27                    | 3,582                             | 0,688     | 3,558    | 0,713     | 3,768           | 0,502     |
| 123             | 2,71                    | 2,521                             | 0,189     | 2,516    | 0,194     | 2,569           | 0,141     |
| 127             | 2,81                    | 2,600                             | 0,210     | 2,595    | 0,215     | 2,659           | 0,151     |
| 134             | 3,08                    | 2,782                             | 0,298     | 2,775    | 0,305     | 2,874           | 0,206     |

Tabela A.131 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 2,414                   | 2,367   | 0,047     | 2,221            | 0,193     | 1,895            | 0,519     | 1,428            | 0,986     |
| 6                     | 18,506                  | 17,069  | 1,437     | 16,247           | 2,259     | 15,017           | 3,489     | 13,648           | 4,858     |
| 7                     | 22,529                  | 21,969  | 0,560     | 21,095           | 1,434     | 19,795           | 2,734     | 18,357           | 4,172     |
| 8                     | 27,679                  | 28,341  | 0,662     | 27,371           | 0,308     | 25,951           | 1,728     | 24,397           | 3,282     |
| 9                     | 30,093                  | 31,312  | 1,219     | 30,275           | 0,182     | 28,767           | 1,326     | 27,130           | 2,963     |
| 10                    | 34,599                  | 36,829  | 2,230     | 35,670           | 1,071     | 34,007           | 0,592     | 32,221           | 2,379     |
| 11                    | 37,013                  | 39,734  | 2,721     | 38,515           | 1,502     | 36,776           | 0,237     | 34,916           | 2,097     |
| 13                    | 30,093                  | 30,278  | 0,185     | 29,180           | 0,913     | 27,597           | 2,496     | 25,885           | 4,208     |
| 14                    | 32,507                  | 31,826  | 0,681     | 30,589           | 1,918     | 28,829           | 3,679     | 26,949           | 5,559     |
| 17                    | 34,921                  | 33,233  | 1,688     | 31,874           | 3,047     | 29,955           | 4,966     | 27,925           | 6,996     |

Tabela A.132 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Nº da Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                  |           |                  |           |                  |           |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|
|                       |                         | $R_f = 5\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 20\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 40\Omega$ | Erro (km) | $R_f = 60\Omega$ | Erro (km) |
| 2                     | 0,90                    | 1,009   | 0,109     | 2,755            | 1,855     | 4,874            | 3,974     | 6,340            | 5,440     |
| 14                    | 2,05                    | 1,820   | 0,230     | 3,318            | 1,268     | 5,332            | 3,282     | 6,739            | 4,689     |
| 16                    | 1,84                    | 1,741   | 0,100     | 3,357            | 1,517     | 5,394            | 3,554     | 6,798            | 4,958     |
| 21                    | 2,05                    | 1,936   | 0,114     | 3,471            | 1,421     | 5,456            | 3,406     | 6,837            | 4,787     |
| 25                    | 1,87                    | 1,816   | 0,054     | 3,452            | 1,582     | 5,479            | 3,609     | 6,870            | 5,000     |
| 27                    | 1,96                    | 1,901   | 0,059     | 3,503            | 1,543     | 5,508            | 3,548     | 6,889            | 4,929     |
| 30                    | 2,14                    | 2,067   | 0,074     | 3,597            | 1,457     | 5,558            | 3,418     | 6,921            | 4,781     |
| 45                    | 2,07                    | 2,000   | 0,070     | 3,575            | 1,505     | 5,578            | 3,508     | 6,961            | 4,891     |
| 48                    | 2,10                    | 2,010   | 0,090     | 3,584            | 1,484     | 5,560            | 3,460     | 6,920            | 4,820     |
| 51                    | 2,34                    | 2,243   | 0,097     | 3,736            | 1,396     | 5,686            | 3,346     | 7,043            | 4,703     |
| 52                    | 2,20                    | 2,114   | 0,086     | 3,660            | 1,460     | 5,633            | 3,433     | 6,996            | 4,796     |
| 55                    | 2,42                    | 2,322   | 0,098     | 3,788            | 1,368     | 5,704            | 3,284     | 7,040            | 4,620     |
| 60                    | 2,38                    | 2,285   | 0,096     | 3,764            | 1,384     | 5,693            | 3,313     | 7,037            | 4,657     |
| 64                    | 2,23                    | 2,140   | 0,090     | 3,683            | 1,453     | 5,647            | 3,417     | 7,002            | 4,772     |
| 67                    | 2,30                    | 2,204   | 0,096     | 3,719            | 1,419     | 5,666            | 3,366     | 7,015            | 4,715     |
| 72                    | 2,39                    | 2,285   | 0,105     | 3,763            | 1,373     | 5,690            | 3,300     | 7,029            | 4,639     |
| 75                    | 2,56                    | 2,437   | 0,123     | 3,845            | 1,285     | 5,733            | 3,173     | 7,056            | 4,496     |
| 76                    | 2,22                    | 2,116   | 0,104     | 3,656            | 1,436     | 5,610            | 3,390     | 6,958            | 4,738     |
| 79                    | 2,37                    | 2,275   | 0,095     | 3,782            | 1,412     | 5,731            | 3,361     | 7,083            | 4,713     |
| 82                    | 2,50                    | 2,387   | 0,113     | 3,840            | 1,340     | 5,763            | 3,263     | 7,103            | 4,603     |
| 85                    | 2,58                    | 2,454   | 0,126     | 3,875            | 1,295     | 5,781            | 3,201     | 7,114            | 4,534     |
| 87                    | 2,65                    | 2,513   | 0,137     | 3,905            | 1,255     | 5,796            | 3,146     | 7,123            | 4,473     |
| 90                    | 2,40                    | 2,272   | 0,128     | 3,752            | 1,352     | 5,672            | 3,272     | 7,003            | 4,603     |
| 97                    | 2,75                    | 2,594   | 0,156     | 3,964            | 1,214     | 5,831            | 3,081     | 7,143            | 4,393     |
| 101                   | 2,96                    | 2,778   | 0,182     | 4,070            | 1,110     | 5,889            | 2,929     | 7,179            | 4,219     |
| 103                   | 2,80                    | 2,607   | 0,193     | 3,947            | 1,147     | 5,789            | 2,989     | 7,084            | 4,284     |
| 107                   | 3,19                    | 2,937   | 0,253     | 4,133            | 0,943     | 5,893            | 2,703     | 7,153            | 3,963     |
| 111                   | 3,44                    | 3,161   | 0,279     | 4,280            | 0,840     | 5,992            | 2,552     | 7,230            | 3,790     |
| 115                   | 3,67                    | 3,316   | 0,354     | 4,346            | 0,676     | 6,007            | 2,337     | 7,223            | 3,553     |
| 118                   | 4,27                    | 3,768   | 0,502     | 4,632            | 0,362     | 6,167            | 1,897     | 7,322            | 3,052     |
| 123                   | 2,71                    | 2,569   | 0,141     | 3,945            | 1,235     | 5,803            | 3,093     | 7,109            | 4,399     |
| 127                   | 2,81                    | 2,659   | 0,151     | 4,001            | 1,191     | 5,835            | 3,025     | 7,129            | 4,319     |
| 134                   | 3,08                    | 2,874   | 0,206     | 4,116            | 1,036     | 5,911            | 2,831     | 7,191            | 4,111     |

Tabela A.133 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase B do sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,367   | 0,047     | 2,364    | 0,050     | 2,364    | 0,050     | 2,363    | 0,051     |
| 6               | 18,506                  | 17,069  | 1,437     | 17,066   | 1,441     | 17,072   | 1,434     | 17,073   | 1,433     |
| 7               | 22,529                  | 21,969  | 0,560     | 21,964   | 0,565     | 21,971   | 0,559     | 21,971   | 0,558     |
| 8               | 27,679                  | 28,341  | 0,662     | 28,327   | 0,648     | 28,329   | 0,650     | 28,323   | 0,644     |
| 9               | 30,093                  | 31,312  | 1,219     | 31,290   | 1,197     | 31,287   | 1,194     | 31,274   | 1,181     |
| 10              | 34,599                  | 36,829  | 2,230     | 36,785   | 2,186     | 36,765   | 2,166     | 36,733   | 2,134     |
| 11              | 37,013                  | 39,734  | 2,721     | 39,678   | 2,665     | 39,648   | 2,635     | 39,605   | 2,592     |
| 13              | 30,093                  | 30,278  | 0,185     | 30,185   | 0,092     | 30,186   | 0,093     | 30,139   | 0,046     |
| 14              | 32,507                  | 31,826  | 0,681     | 31,628   | 0,879     | 31,634   | 0,873     | 31,539   | 0,969     |
| 17              | 34,921                  | 33,233  | 1,688     | 32,910   | 2,011     | 32,934   | 1,987     | 32,787   | 2,135     |

Tabela A.134 – Localização de falta monofásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas na fase A do sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 5  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 1,009   | 0,109     | 1,034    | 0,134     | 1,055    | 0,155     | 1,081    | 0,181     |
| 14              | 2,05                    | 1,820   | 0,230     | 1,830    | 0,220     | 1,834    | 0,216     | 1,834    | 0,216     |
| 16              | 1,84                    | 1,741   | 0,100     | 1,750    | 0,090     | 1,755    | 0,085     | 1,758    | 0,082     |
| 21              | 2,05                    | 1,936   | 0,114     | 1,934    | 0,116     | 1,929    | 0,121     | 1,916    | 0,134     |
| 25              | 1,87                    | 1,816   | 0,054     | 1,821    | 0,049     | 1,822    | 0,048     | 1,820    | 0,051     |
| 27              | 1,96                    | 1,901   | 0,059     | 1,902    | 0,058     | 1,898    | 0,062     | 1,889    | 0,071     |
| 30              | 2,14                    | 2,067   | 0,074     | 2,057    | 0,083     | 2,044    | 0,096     | 2,022    | 0,118     |
| 45              | 2,07                    | 2,000   | 0,070     | 1,994    | 0,076     | 1,985    | 0,085     | 1,969    | 0,101     |
| 48              | 2,10                    | 2,010   | 0,090     | 2,005    | 0,095     | 1,997    | 0,103     | 1,983    | 0,117     |
| 51              | 2,34                    | 2,243   | 0,097     | 2,223    | 0,117     | 2,202    | 0,138     | 2,170    | 0,170     |
| 52              | 2,20                    | 2,114   | 0,086     | 2,103    | 0,097     | 2,089    | 0,111     | 2,068    | 0,132     |
| 55              | 2,42                    | 2,322   | 0,098     | 2,300    | 0,120     | 2,275    | 0,145     | 2,238    | 0,182     |
| 60              | 2,38                    | 2,285   | 0,096     | 2,264    | 0,117     | 2,241    | 0,139     | 2,207    | 0,173     |
| 64              | 2,23                    | 2,140   | 0,090     | 2,128    | 0,102     | 2,114    | 0,116     | 2,093    | 0,137     |
| 67              | 2,30                    | 2,204   | 0,096     | 2,188    | 0,112     | 2,170    | 0,130     | 2,143    | 0,157     |
| 72              | 2,39                    | 2,285   | 0,105     | 2,264    | 0,126     | 2,241    | 0,149     | 2,207    | 0,183     |
| 75              | 2,56                    | 2,437   | 0,123     | 2,405    | 0,155     | 2,372    | 0,188     | 2,326    | 0,235     |
| 76              | 2,22                    | 2,116   | 0,104     | 2,105    | 0,115     | 2,092    | 0,128     | 2,072    | 0,148     |
| 79              | 2,37                    | 2,275   | 0,095     | 2,256    | 0,114     | 2,235    | 0,135     | 2,205    | 0,166     |
| 82              | 2,50                    | 2,387   | 0,113     | 2,359    | 0,141     | 2,331    | 0,169     | 2,291    | 0,209     |
| 85              | 2,58                    | 2,454   | 0,126     | 2,422    | 0,158     | 2,389    | 0,191     | 2,343    | 0,237     |
| 87              | 2,65                    | 2,513   | 0,137     | 2,477    | 0,173     | 2,440    | 0,210     | 2,388    | 0,262     |
| 90              | 2,40                    | 2,272   | 0,128     | 2,251    | 0,149     | 2,229    | 0,171     | 2,199    | 0,201     |
| 97              | 2,75                    | 2,594   | 0,156     | 2,553    | 0,197     | 2,512    | 0,238     | 2,459    | 0,291     |
| 101             | 2,96                    | 2,778   | 0,182     | 2,724    | 0,236     | 2,672    | 0,288     | 2,603    | 0,357     |
| 103             | 2,80                    | 2,607   | 0,193     | 2,564    | 0,237     | 2,521    | 0,279     | 2,464    | 0,336     |
| 107             | 3,19                    | 2,937   | 0,253     | 2,869    | 0,321     | 2,805    | 0,386     | 2,719    | 0,471     |
| 111             | 3,44                    | 3,161   | 0,279     | 3,077    | 0,363     | 2,997    | 0,443     | 2,892    | 0,548     |
| 115             | 3,67                    | 3,316   | 0,354     | 3,217    | 0,453     | 3,125    | 0,545     | 3,003    | 0,667     |
| 118             | 4,27                    | 3,768   | 0,502     | 3,630    | 0,640     | 3,502    | 0,768     | 3,334    | 0,936     |
| 123             | 2,71                    | 2,569   | 0,141     | 2,531    | 0,179     | 2,492    | 0,218     | 2,438    | 0,272     |
| 127             | 2,81                    | 2,659   | 0,151     | 2,615    | 0,195     | 2,571    | 0,240     | 2,510    | 0,300     |
| 134             | 3,08                    | 2,874   | 0,206     | 2,812    | 0,268     | 2,753    | 0,328     | 2,674    | 0,406     |

Tabela A.135 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,380                             | 0,034     | 2,375    | 0,039     | 2,374           | 0,040     |
| 6               | 18,506                  | 18,246                            | 0,260     | 18,237   | 0,269     | 18,196          | 0,310     |
| 7               | 22,529                  | 22,208                            | 0,321     | 22,198   | 0,331     | 22,715          | 0,186     |
| 8               | 27,679                  | 27,492                            | 0,187     | 27,480   | 0,199     | 28,701          | 1,022     |
| 9               | 30,093                  | 29,964                            | 0,129     | 29,952   | 0,141     | 31,502          | 1,409     |
| 10              | 34,599                  | 34,568                            | 0,031     | 34,554   | 0,045     | 36,717          | 2,118     |
| 11              | 37,013                  | 36,932                            | 0,081     | 36,917   | 0,096     | 39,413          | 2,400     |

Tabela A.136 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, resistência de falta de 1  $\Omega$  e em três diferentes situações: (a) sem geração distribuída; (b) com GD-1 e (c) com GD-1 e GD-2.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com o Sistema: |           |          |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | Sem GD                            | Erro (km) | Com GD-1 | Erro (km) | Com GD-1 e GD-2 | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,904                             | 0,004     | 0,902    | 0,002     | 0,875           | 0,025     |
| 14              | 2,05                    | 2,072                             | 0,022     | 2,069    | 0,019     | 1,921           | 0,129     |
| 16              | 1,84                    | 1,850                             | 0,010     | 1,847    | 0,007     | 1,760           | 0,080     |
| 21              | 2,05                    | 2,068                             | 0,018     | 2,065    | 0,015     | 1,992           | 0,058     |
| 25              | 1,87                    | 1,875                             | 0,005     | 1,871    | 0,001     | 1,824           | 0,046     |
| 27              | 1,96                    | 1,969                             | 0,009     | 1,966    | 0,006     | 1,927           | 0,033     |
| 30              | 2,14                    | 2,154                             | 0,014     | 2,151    | 0,011     | 2,129           | 0,011     |
| 45              | 2,07                    | 2,081                             | 0,011     | 2,078    | 0,008     | 2,060           | 0,010     |
| 48              | 2,10                    | 2,060                             | 0,040     | 2,055    | 0,045     | 2,042           | 0,058     |
| 51              | 2,34                    | 2,340                             | 0,000     | 2,337    | 0,003     | 2,353           | 0,013     |
| 52              | 2,20                    | 2,190                             | 0,010     | 2,186    | 0,014     | 2,185           | 0,015     |
| 55              | 2,42                    | 2,425                             | 0,005     | 2,421    | 0,001     | 2,435           | 0,015     |
| 60              | 2,38                    | 2,384                             | 0,004     | 2,380    | 0,000     | 2,394           | 0,014     |
| 64              | 2,23                    | 2,213                             | 0,017     | 2,208    | 0,022     | 2,211           | 0,020     |
| 67              | 2,30                    | 2,285                             | 0,015     | 2,280    | 0,020     | 2,291           | 0,009     |
| 72              | 2,39                    | 2,377                             | 0,013     | 2,373    | 0,017     | 2,395           | 0,005     |
| 75              | 2,56                    | 2,549                             | 0,011     | 2,546    | 0,014     | 2,587           | 0,027     |
| 76              | 2,22                    | 2,172                             | 0,048     | 2,167    | 0,053     | 2,169           | 0,051     |
| 79              | 2,37                    | 2,373                             | 0,003     | 2,368    | 0,002     | 2,389           | 0,019     |
| 82              | 2,50                    | 2,494                             | 0,006     | 2,490    | 0,010     | 2,527           | 0,027     |
| 85              | 2,58                    | 2,569                             | 0,012     | 2,565    | 0,015     | 2,612           | 0,032     |
| 87              | 2,65                    | 2,633                             | 0,017     | 2,630    | 0,020     | 2,685           | 0,035     |
| 90              | 2,40                    | 2,339                             | 0,061     | 2,334    | 0,066     | 2,357           | 0,043     |
| 97              | 2,75                    | 2,715                             | 0,035     | 2,709    | 0,041     | 2,775           | 0,025     |
| 101             | 2,96                    | 2,925                             | 0,035     | 2,920    | 0,041     | 3,005           | 0,045     |
| 103             | 2,80                    | 2,704                             | 0,096     | 2,698    | 0,103     | 2,770           | 0,031     |
| 107             | 3,19                    | 3,086                             | 0,104     | 3,078    | 0,112     | 3,193           | 0,003     |
| 111             | 3,44                    | 3,356                             | 0,085     | 3,348    | 0,092     | 3,483           | 0,043     |
| 115             | 3,67                    | 3,518                             | 0,152     | 3,508    | 0,162     | 3,665           | 0,005     |
| 118             | 4,27                    | 4,067                             | 0,203     | 4,052    | 0,218     | 4,239           | 0,031     |
| 123             | 2,71                    | 2,689                             | 0,021     | 2,684    | 0,026     | 2,734           | 0,024     |
| 127             | 2,81                    | 2,792                             | 0,018     | 2,787    | 0,023     | 2,843           | 0,033     |
| 134             | 3,08                    | 3,032                             | 0,048     | 3,027    | 0,053     | 3,132           | 0,052     |

Tabela A.137 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,374   | 0,040     | 2,341           | 0,073     |
| 6               | 18,506                  | 18,196  | 0,310     | 17,982          | 0,524     |
| 7               | 22,529                  | 22,715  | 0,186     | 22,491          | 0,038     |
| 8               | 27,679                  | 28,701  | 1,022     | 28,457          | 0,778     |
| 9               | 30,093                  | 31,502  | 1,409     | 31,246          | 1,153     |
| 10              | 34,599                  | 36,717  | 2,118     | 36,435          | 1,836     |
| 11              | 37,013                  | 39,413  | 2,400     | 39,119          | 2,106     |

Tabela A.138 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com carga nominal, com GD-1 e GD-2 e variação na resistência de falta.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Resistência de Falta ( $R_f$ ) |           |                 |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|
|                 |                         | $R_f = 1\Omega$   | Erro (km) | $R_f = 5\Omega$ | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,875   | 0,025     | 1,324           | 0,424     |
| 14              | 2,05                    | 1,921   | 0,129     | 2,047           | 0,004     |
| 16              | 1,84                    | 1,760   | 0,080     | 2,054           | 0,214     |
| 21              | 2,05                    | 1,992   | 0,058     | 2,278           | 0,228     |
| 25              | 1,87                    | 1,824   | 0,046     | 2,182           | 0,312     |
| 27              | 1,96                    | 1,927   | 0,033     | 2,280           | 0,320     |
| 30              | 2,14                    | 2,129   | 0,011     | 2,469           | 0,329     |
| 45              | 2,07                    | 2,060   | 0,010     | 2,387           | 0,317     |
| 48              | 2,10                    | 2,042   | 0,058     | 2,374           | 0,274     |
| 51              | 2,34                    | 2,353   | 0,013     | 2,653           | 0,313     |
| 52              | 2,20                    | 2,185   | 0,015     | 2,506           | 0,306     |
| 55              | 2,42                    | 2,435   | 0,015     | 2,758           | 0,338     |
| 60              | 2,38                    | 2,394   | 0,014     | 2,710           | 0,330     |
| 64              | 2,23                    | 2,211   | 0,020     | 2,533           | 0,303     |
| 67              | 2,30                    | 2,291   | 0,009     | 2,605           | 0,305     |
| 72              | 2,39                    | 2,395   | 0,005     | 2,697           | 0,307     |
| 75              | 2,56                    | 2,587   | 0,027     | 2,867           | 0,307     |
| 76              | 2,22                    | 2,169   | 0,051     | 2,489           | 0,269     |
| 79              | 2,37                    | 2,389   | 0,019     | 2,697           | 0,327     |
| 82              | 2,50                    | 2,527   | 0,027     | 2,815           | 0,315     |
| 85              | 2,58                    | 2,612   | 0,032     | 2,887           | 0,307     |
| 87              | 2,65                    | 2,685   | 0,035     | 2,949           | 0,299     |
| 90              | 2,40                    | 2,357   | 0,043     | 2,656           | 0,256     |
| 97              | 2,75                    | 2,775   | 0,025     | 3,035           | 0,285     |
| 101             | 2,96                    | 3,005   | 0,045     | 3,250           | 0,290     |
| 103             | 2,80                    | 2,770   | 0,031     | 3,014           | 0,214     |
| 107             | 3,19                    | 3,193   | 0,003     | 3,387           | 0,197     |
| 111             | 3,44                    | 3,483   | 0,043     | 3,672           | 0,232     |
| 115             | 3,67                    | 3,665   | 0,005     | 3,815           | 0,145     |
| 118             | 4,27                    | 4,239   | 0,031     | 4,386           | 0,116     |
| 123             | 2,71                    | 2,734   | 0,024     | 3,025           | 0,315     |
| 127             | 2,81                    | 2,843   | 0,033     | 3,136           | 0,326     |
| 134             | 3,08                    | 3,132   | 0,052     | 3,346           | 0,266     |

Tabela A.139 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 21 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 2,414                   | 2,374   | 0,040     | 2,374    | 0,041     | 2,374    | 0,041     | 2,373    | 0,041     |
| 6               | 18,506                  | 18,196  | 0,310     | 18,194   | 0,312     | 18,193   | 0,313     | 18,192   | 0,314     |
| 7               | 22,529                  | 22,715  | 0,186     | 22,712   | 0,183     | 22,710   | 0,181     | 22,707   | 0,178     |
| 8               | 27,679                  | 28,701  | 1,022     | 28,694   | 1,015     | 28,687   | 1,008     | 28,680   | 1,001     |
| 9               | 30,093                  | 31,502  | 1,409     | 31,492   | 1,399     | 31,482   | 1,389     | 31,472   | 1,379     |
| 10              | 34,599                  | 36,717  | 2,118     | 36,698   | 2,099     | 36,679   | 2,080     | 36,660   | 2,061     |
| 11              | 37,013                  | 39,413  | 2,400     | 39,389   | 2,376     | 39,365   | 2,352     | 39,341   | 2,328     |

Tabela A.140 – Localização de falta trifásica estimada pelo método de Warrington para faltas aplicadas no sistema de 134 barras; sistema operando com GD-1 e GD-2, resistência de falta de 1  $\Omega$  e variação no carregamento.

| Barra com Falta | Distância da Falta (km) | Distância Estimada com GD-1 e GD-2 Operando no Sistema e Variação na Carga Nominal (CN) |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------|-------------------------|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                 |                         | CN  | Erro (km) | 1.25% CN | Erro (km) | 1.50% CN | Erro (km) | 1.75% CN | Erro (km) |
| 2               | 0,90                    | 0,875   | 0,025     | 0,881    | 0,019     | 0,888    | 0,012     | 0,898    | 0,002     |
| 14              | 2,05                    | 1,921   | 0,129     | 1,931    | 0,119     | 1,940    | 0,110     | 1,954    | 0,096     |
| 16              | 1,84                    | 1,760   | 0,080     | 1,768    | 0,072     | 1,777    | 0,064     | 1,789    | 0,051     |
| 21              | 2,05                    | 1,992   | 0,058     | 2,000    | 0,051     | 2,006    | 0,044     | 2,017    | 0,033     |
| 25              | 1,87                    | 1,824   | 0,046     | 1,832    | 0,039     | 1,839    | 0,031     | 1,851    | 0,019     |
| 27              | 1,96                    | 1,927   | 0,033     | 1,934    | 0,026     | 1,941    | 0,019     | 1,952    | 0,008     |
| 30              | 2,14                    | 2,129   | 0,011     | 2,135    | 0,005     | 2,140    | 0,000     | 2,148    | 0,008     |
| 45              | 2,07                    | 2,060   | 0,010     | 2,065    | 0,005     | 2,069    | 0,001     | 2,077    | 0,007     |
| 48              | 2,10                    | 2,042   | 0,058     | 2,048    | 0,052     | 2,053    | 0,047     | 2,063    | 0,037     |
| 51              | 2,34                    | 2,353   | 0,013     | 2,356    | 0,016     | 2,358    | 0,018     | 2,362    | 0,022     |
| 52              | 2,20                    | 2,185   | 0,015     | 2,190    | 0,010     | 2,194    | 0,006     | 2,202    | 0,002     |
| 55              | 2,42                    | 2,435   | 0,015     | 2,438    | 0,018     | 2,441    | 0,021     | 2,448    | 0,028     |
| 60              | 2,38                    | 2,394   | 0,014     | 2,397    | 0,017     | 2,400    | 0,020     | 2,406    | 0,026     |
| 64              | 2,23                    | 2,211   | 0,020     | 2,215    | 0,015     | 2,220    | 0,010     | 2,228    | 0,002     |
| 67              | 2,30                    | 2,291   | 0,009     | 2,295    | 0,005     | 2,299    | 0,001     | 2,306    | 0,006     |
| 72              | 2,39                    | 2,395   | 0,005     | 2,397    | 0,007     | 2,399    | 0,009     | 2,405    | 0,015     |
| 75              | 2,56                    | 2,587   | 0,027     | 2,587    | 0,027     | 2,586    | 0,026     | 2,587    | 0,027     |
| 76              | 2,22                    | 2,169   | 0,051     | 2,174    | 0,046     | 2,178    | 0,042     | 2,187    | 0,033     |
| 79              | 2,37                    | 2,389   | 0,019     | 2,392    | 0,022     | 2,394    | 0,024     | 2,401    | 0,031     |
| 82              | 2,50                    | 2,527   | 0,027     | 2,528    | 0,028     | 2,529    | 0,029     | 2,533    | 0,033     |
| 85              | 2,58                    | 2,612   | 0,032     | 2,611    | 0,031     | 2,611    | 0,031     | 2,612    | 0,032     |
| 87              | 2,65                    | 2,685   | 0,035     | 2,684    | 0,034     | 2,682    | 0,032     | 2,681    | 0,031     |
| 90              | 2,40                    | 2,357   | 0,043     | 2,360    | 0,040     | 2,363    | 0,037     | 2,369    | 0,031     |
| 97              | 2,75                    | 2,775   | 0,025     | 2,773    | 0,023     | 2,770    | 0,020     | 2,772    | 0,022     |
| 101             | 2,96                    | 3,005   | 0,045     | 2,998    | 0,038     | 2,992    | 0,032     | 2,989    | 0,029     |
| 103             | 2,80                    | 2,770   | 0,031     | 2,766    | 0,034     | 2,763    | 0,037     | 2,763    | 0,037     |
| 107             | 3,19                    | 3,193   | 0,003     | 3,181    | 0,009     | 3,169    | 0,021     | 3,159    | 0,031     |
| 111             | 3,44                    | 3,483   | 0,043     | 3,465    | 0,025     | 3,447    | 0,007     | 3,428    | 0,012     |
| 115             | 3,67                    | 3,665   | 0,005     | 3,640    | 0,030     | 3,616    | 0,054     | 3,588    | 0,082     |
| 118             | 4,27                    | 4,239   | 0,031     | 4,194    | 0,076     | 4,150    | 0,120     | 4,097    | 0,173     |
| 123             | 2,71                    | 2,734   | 0,024     | 2,733    | 0,023     | 2,732    | 0,022     | 2,734    | 0,024     |
| 127             | 2,81                    | 2,843   | 0,033     | 2,841    | 0,031     | 2,838    | 0,028     | 2,839    | 0,029     |
| 134             | 3,08                    | 3,132   | 0,052     | 3,123    | 0,043     | 3,113    | 0,033     | 3,105    | 0,025     |