



SANDERSON ROCHA DE ABREU

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PARA-RAIOS POLIMÉRICOS DE
DISTRIBUIÇÃO SOB CLIMA SIMULADO – ENVELHECIMENTO ACELERADO -
ANÁLISE DA HIDROFOBICIDADE**

**CAMPINAS
2013**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

SANDERSON ROCHA DE ABREU

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PARA-RAIOS POLIMÉRICOS DE
DISTRIBUIÇÃO SOB CLIMA SIMULADO – ENVELHECIMENTO ACELERADO -
ANÁLISE DA HIDROFOBICIDADE**

Orientador: Prof. Dr. José Pissolato Filho

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. Área de concentração: Energia Elétrica.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO SANDERSON ROCHA DE ABREU
E ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSÉ PISSOLATO FILHO

**CAMPINAS
2013**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Abreu, Sanderson Rocha, 1969-
Ab86a Avaliação do comportamento de para-raios poliméricos de distribuição sob
clima simulado - envelhecimento acelerado - análise da hidrofobicidade /
Sanderson Rocha de Abreu. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: José Pissolato Filho.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Para-raios. 2. Compósitos poliméricos. 3. Hidrofobicidade. I. Pissolato Filho,
José, 1951-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Assessment of the behavior of polymeric arrester distribution under simulated climate - Accelerated aging - analysis of hydrophobicity

Palavras-chave em inglês:

Surge arresters

Polymeric composites

Hydrophobicity

Área de concentração: Energia Elétrica

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

José Pissolato Filho [Orientador]

Manuel Luiz Barreira Martinez

Geraldo Peres Caixeta

Data de defesa: 29-11-2013

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Sanderson Rocha do Abreu

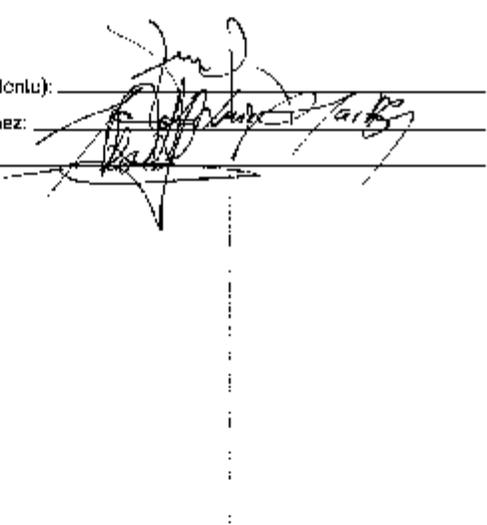
Data da Defesa: 28 de novembro de 2013

Título da Tese: "Avaliação do Comportamento de Para-Raios Poliméricos de Distribuição Sob Clima Simulado - Envelhecimento Acelerado - Análise da Hidrofobicidade"

Prof. Dr. José Pissolato Filho (Presidente):

Prof. Dr. Manuel Luiz Barreira Martinez:

Prof. Dr. Geraldo Peres Calxeta:



Agradecimentos

Agradeço a Deus, pela sabedoria, e por iluminar sempre o meu caminho.

À minha mãe Terezinha e minha vó Antônia, pelo exemplo e o amor que me deixaram.

À minha filha Mariana e minha esposa Andréa, pelo amor, compreensão e pelo apoio incondicional que me deram nesta difícil jornada.

Ao meu orientador, Dr. José Pissolato Filho, pela dedicação na orientação deste trabalho para obtenção do título de mestre.

Ao amigo Jorge Luiz De Franco, por acreditar, incentivar e me apoiar no desenvolvimento da pesquisa.

Ao amigo Marcel Antonionni de Andrade Romano pelas horas dedicadas a me ajudar na compreensão de algumas experiências.

Aos amigos Rodolfo Cardoso e Humberto Monteiro pelas contribuições ao trabalho.

Aos amigos do LAT-Unicamp e LEAT-Energisa, pelo apoio nos de Ensaios em Alta Tensão.

Aos Professores da Banca Julgadora pela presteza para participar da minha defesa de dissertação.

A Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, por me acolher como aluno e disponibilizar sua infraestrutura para realização desta pesquisa.

Ao Grupo Energisa por acreditar no meu trabalho e pela oportunidade e apoio financeiro.

Resumo

Os sistemas elétricos estão submetidos esporadicamente a várias formas de fenômenos transitórios, envolvendo variações súbitas de tensão e de corrente provocadas por descargas atmosféricas, faltas no sistema ou operação de disjuntores e chaves seccionadoras. Desta forma, os equipamentos elétricos além de estarem permanentemente solicitados pela tensão de operação dos sistemas, serão eventualmente submetidos por solicitações de tensões temporárias e transitórias, provenientes da ocorrência de distúrbios nos sistemas.

A utilização de para-raios em sistemas de distribuição é uma prática que as empresas distribuidoras de energia elétrica vêm utilizando ao longo dos anos, para limitar as amplitudes das sobretensões transitórias de origem atmosférica nos sistemas de distribuição, reduzindo os efeitos dessas sobretensões sobre os equipamentos a níveis aceitáveis, de modo a aumentar a confiabilidade do sistema. Para isso, é imprescindível que os para-raios estejam operacionais ao longo de toda a sua vida útil e que resistam às diversas solicitações de tensões temporárias e transitórias sob diferentes condições ambientais.

Este trabalho, pretende avaliar o comportamento dos diferentes projetos construtivos de para-raios de distribuição disponíveis no mercado nacional e internacional, mediante a avaliação sob condições de temperatura, umidade e precipitação pluviométrica, por meio de envelhecimento acelerado. Pretende fornecer subsídios que possam nortear escolhas importantes a serem tomadas pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica do Grupo Energisa, como por exemplo, a seleção do equipamento adequado às condições climáticas de cada região atendida. A análise da hidrofobicidade dos polímeros utilizados na construção do para-raios tem um papel importante neste trabalho, pois poderá indicar a possível degradação do invólucro de acordo com as condições ambientais que este está exposto por região do Brasil, onde o Grupo Energisa tem atuação.

Palavras-Chave – Para-raios Poliméricos, Hidrofobicidade, Distribuição.

Abstract

The electrical systems are sporadically submitted to several forms of transient phenomena involving sudden changes in voltage and current caused by atmospheric surges, system faults or operating circuit breakers and switchgear. Thus, electrical equipment in addition to being permanently operating voltage required by the systems, are eventually submitted to requests for temporary and transient voltages, from the occurrence of systems disturbances.

The use of surge arresters in distribution systems is a practice that the electricity distribution companies have used over the years to limit the amplitudes of transient overvoltages of atmospheric origin in distribution systems and reducing the effects of these overvoltages on equipment at acceptable levels in order to increase system reliability. Therefore, it is necessary that surge arresters are operational throughout its life and resistant to several requests of temporary and transient voltages under different environmental conditions.

This work intends to evaluate the behavior of different constructive projects of surge arresters distribution available on the national and international markets, through their evaluation under conditions of temperature, humidity and rainfall, through accelerated aging. Also intends to provide subsidies to orient important choices to be made by electricity distribution companies from Energisa Group, for example, the selection of appropriate climatic conditions equipment of each region served. For this, the analysis of the hydrophobicity of the polymers used in the construction of surge arresters, plays an important role in this work, as it may indicate the possible deterioration of the housing according to the environmental conditions that are exposed by the region of Brazil, where the Group Energisa has operations.

Key-words - Polymeric surge arresters, hydrophobicity, Distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Detalhes do projeto construtivo de para-raios moldado - Ohio Brass.....	4
Figura 1.2 - Detalhes do projeto construtivo de para-raios diretamente injetado - TE connectivity....	5
Figura 1.3 - Detalhes de projetos de para-raios tipo gaiola - ABB, Siemens e TE Connectivity.....	6
Figura 1.4 - Componentes de para-raios moldados e injetados.....	7
Figura 1.5 - Possíveis formas de penetração de umidade em para-raios com invólucros poliméricos.	8
Figura 2.1 - Exemplo de formato dos dados fornecidos.....	17
Figura 2.2 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas. Fonte: ONS, 2011.....	18
Figura 2.3 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.....	22
Figura 2.4 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.....	26
Figura 2.5 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.....	31
Figura 2.6 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.....	35
Figura 2.7 - Comparação dos dados do mapa de densidade de descargas atmosféricas (recortes) para as cidades estudadas.....	41
Figura 3.1 - Classes de hidrofobicidade segundo o Guia STRI.....	48
Figura 3.2 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 1 a 6 do fabricante A.....	51
Figura 3.3 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 29 a 35 do fabricante B.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.4 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 8 a 13 do fabricante C.....	53
Figura 3.5 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 22 a 27 do fabricante D.....	54
Figura 3.6 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 15 a 20 do fabricante E.....	55
Figura 3.7 - Para-raios imersos em água deionizado por período de 96 horas.....	56
Figura 3.8 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 1 a 3 do fabricante A.....	57
Figura 3.9 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 29 a 31 do fabricante B.....	58
Figura 3.10: Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 8 a 10 do fabricante C.....	58
Figura 3.11 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 22 a 24 do fabricante D.....	59
Figura 3.12 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 15 a 17 do fabricante E.....	59
Figura 3.13 - Camada de deposição de poluição artificial nas superfícies dos para-raios.....	61
Figura 3.14 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 1 a 3 do fabricante A.....	62
Figura 3.15 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 19 a 31 do fabricante B.....	62
Figura 3.16 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 8 a 10 do fabricante C.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.17 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 22 a 24 do fabricante D.....	63
Figura 3.18 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 15 a 17 do fabricante E.....	64
Figura 3.19 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 4 a 6 do fabricante A.....	66
Figura 3.20 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 32 a 34 do fabricante B.....	66
Figura 3.21 - Imagens da hidrofobicidade transferido para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 11 a 13 do fabricante C.....	67
Figura 3.22 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 25 a 27 do fabricante D.....	67
Figura 3.23 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 18 a 20 do fabricante E.....	68
Figura 3.24 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 4 a 6 do fabricante A.....	70
Figura 3.25 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 32 a 34 do fabricante B.....	71
Figura 3.26 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 11 a 13 do fabricante C.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.27 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 25 a 27 do fabricante D.....	72
Figura 3.28 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 18 a 20 do fabricante E.....	72
Figura 4.1 - Tanque para realização de ensaios em para-raios (vista 1).....	78
Figura 4.2 - Tanque para realização de ensaios em para-raios (vista 2)	79
Figura 4.3 - Tanques para ensaios energizados	80
Figura 4.4 - Instalação dos para-raios nos tanques de ensaios energizados	80
Figura 5.1 – Modelo simplificado de um para-raio de ZnO	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dados técnicos da Energisa Minas Gerais.....	13
Tabela 2.2 - Dados técnicos da Energisa Nova Friburgo.....	14
Tabela 2.3 - Dados técnicos da Energisa Paraíba.....	15
Tabela 2.4 - Dados técnicos da Energisa Sergipe.....	15
Tabela 3.1 – Amostras e ensaios realizados.....	46
Tabela 3.2: Classificação de hidrofobicidade das superfícies limpas segundo o guia STRI.....	50
Tabela 3.3: Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por um período de 96 horas.....	56
Tabela 3.4: Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade recupera em 48 horas após perda da hidrofobicidade por imersão água deionizada por um período de 96 horas.....	60
Tabela 3.5: Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade transferida da superfície dos para-raios para camada depositada de poluição artificial após um período de 96 horas da deposição.....	65
Tabela 3.6: Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após transferência de hidrofobicidade da superfície dos para-raios para o depósito de poluição artificial após um período de 96 horas da deposição.....	69
Tabela 4.1 - Tanque representativo do Nordeste – Patos – Tanque 2.....	81
Tabela 4.2 - Tanque representativo do Sudeste – Santo Antônio de Pádua – Tanque 3.....	82
Tabela 5.1 - Medição da Tensão Residual Inicial do Tanque 2.....	105
Tabela 5.2 - Medição da Tensão Residual Inicial do Tanque 3.....	106
Tabela 5.3 - Medição da Tensão Residual Final do Tanque 2.....	107
Tabela 5.4 - Medição da Tensão Residual Final do Tanque 3.....	108
Tabela 5.5 - Medição da Corrente de Fuga Tanque 2.....	110
Tabela 5.6 - Medição da Corrente de Fuga Tanque 3.....	111

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.....	19
Gráfico 2.2 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.....	20
Gráfico 2.3 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.....	20
Gráfico 2.4 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.....	21
Gráfico 2.5 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.....	22
Gráfico 2.6 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.....	23
Gráfico 2.7 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.....	24
Gráfico 2.8 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.....	24
Gráfico 2.9 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado da Paraíba.....	25
Gráfico 2.10 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado da Paraíba.....	26
Gráfico 2.11 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.....	27
Gráfico 2.12 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.....	28
Gráfico 2.13 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.....	29
Gráfico 2.14 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.....	30
Gráfico 2.15 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.....	31
Gráfico 2.16 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.....	32
Gráfico 2.17 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.....	33
Gráfico 2.18 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.....	33
Gráfico 2.19 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado de Sergipe.....	34
Gráfico 2.20 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado de Sergipe.....	35
Gráfico 2.21 - Comparação dos dados de precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas.....	37
Gráfico 2.22 - Comparação dos dados de temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas.....	38
Gráfico 2.23 - Comparação dos dados de temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.24 - Comparação dos dados de umidade relativa média para as cidades estudadas.....	39
Gráfico 2.25 - Comparação dos dados de radiação ultravioleta média para as cidades estudadas.....	40
Gráfico 3.1 - Hidrofobicidade das superfícies limpas.....	73
Gráfico 3.2 - Hidrofobicidades das superfícies limpas, da perda por imersão e da recuperação após imersão.....	73
Gráfico 3.3 - Hidrofobicidades das superfícies limpas, transferidas para camada de poluição e recuperada após remoção da camada de poluição.....	75
Gráfico 4.1 - Hidrofobicidade Fabricante A Tanque 2 Região Nordeste.....	83
Gráfico 4.2 - Hidrofobicidade Fabricante A Tanque 3 Região Sudeste.....	83
Gráfico 4.3 - Hidrofobicidade Fabricante B Tanque 2 Região Nordeste.....	87
Gráfico 4.4 - Hidrofobicidade Fabricante B Tanque 3 Região Sudeste.....	88
Gráfico 4.5 - Hidrofobicidade Fabricante C Tanque 2 Região Nordeste.....	91
Gráfico 4.6 - Hidrofobicidade Fabricante C Tanque 3 Região Sudeste.....	92
Gráfico 4.7 - Hidrofobicidade Fabricante D Tanque 2 Região Nordeste.....	96
Gráfico 4.8 - Hidrofobicidade Fabricante D Tanque 3 Região Sudeste.....	96
Gráfico 4.9 - Hidrofobicidade Fabricante E Tanque 2 Região Nordeste.....	100
Gráfico 4.10 - Hidrofobicidade Fabricante E Tanque 3 Região Sudeste.....	101

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Revisão Bibliográfica.....	3
1.4 Apresentação da Dissertação.....	10
1.5 Trabalhos Publicados.....	11
Capítulo 2 – Condições Ambientais.....	12
2.1 Introdução.....	12
2.2 Levantamento de Informações Técnicas e Comerciais das Áreas Sob Concessão do Grupo Energisa.....	13
2.2.1 O Grupo Energisa.....	13
2.2.1.1 Energisa Minas Gerais.....	13
2.2.1.2 Energisa Nova Friburgo.....	14
2.2.1.3 Energisa Paraíba.....	14
2.2.1.4 Energisa Sergipe.....	15
2.2.2 Levantamento das Condições Climáticas das Áreas Sob Concessão do Grupo Energisa.....	16
2.3 Resultados do Levantamento das Condições Climáticas.....	18
2.3.1 Minas Gerais - Precipitação Acumulada.....	19
2.3.2 Minas Gerais – Temperaturas Máxima e Mínima.....	19
2.3.3 Minas Gerais – Umidade Relativa.....	21
2.3.4 Minas Gerais – Radiação Ultravioleta.....	21
2.3.5 Minas Gerais – Descargas Atmosféricas.....	22
2.3.6 Paraíba - Precipitação Acumulada.....	23
2.3.7 Paraíba – Temperaturas Máxima e Mínima.....	23
2.3.8 Paraíba – Umidade Relativa.....	25

SUMÁRIO

2.3.9 Paraíba – Radiação Ultravioleta.....	25
2.3.10 Paraíba – Descargas Atmosféricas.....	26
2.3.11 Rio de Janeiro – Precipitação Acumulada.....	27
2.3.12 Rio de Janeiro – Temperaturas Máxima e Mínima.....	28
2.3.13 Rio de Janeiro – Umidade Relativa.....	29
2.3.14 Rio de Janeiro – Radiação Ultravioleta.....	30
2.3.15 Rio de Janeiro – Descargas Atmosféricas.....	31
2.3.16 Sergipe – Precipitação Acumulada.....	32
2.3.17 Sergipe – Temperaturas Máxima e Mínima.....	32
2.3.18 Sergipe – Umidade Relativa.....	34
2.3.19 Sergipe – Radiação Ultravioleta.....	34
2.3.20 Sergipe – Descargas Atmosféricas.....	35
2.4 Comparação dos resultados.....	36
2.4.1 Comparação dos resultados – Precipitação Acumulada.....	36
2.4.2 Comparação dos resultados – Temperaturas Máxima e Mínima.....	37
2.4.3 Comparação dos resultados – Umidade Relativa.....	39
2.4.4 Comparação dos resultados – Radiação Ultravioleta.....	39
2.4.5 Comparação dos resultados – Descargas Atmosféricas.....	40
2.5 Considerações Finais Sobre as Condições Ambientais.....	42
Capítulo 3 - Hidrofobicidade em Invólucros de Para-Raios Poliméricos de distribuição.....	44
3.1- Materiais e Métodos.....	46
3.2- Hidrofobicidade.....	47
3.2.1- Classificação de Hidrofobicidade da Superfície Limpa (Hl).....	50
3.2.2- Classificação de Hidrofobicidade Perdida da Superfície Imersa em Água (Hp).....	55
3.2.3- Classificação de Hidrofobicidade Perdida da Superfície Imersa em Água (Hr-p).....	59

SUMÁRIO

3.2.4 - Classificação de Hidrofobicidade Transferida da Superfície para Camada de Depósito de Poluição Artificial (Ht).....	64
3.2.5 Classificação de Hidrofobicidade Final Após Transferência da Superfície para Camada de Depósito de Poluição Artificial (Hf).....	68
3.3 Análise Final sobre Hidrofobicidade dos Para-raios.....	76
Capítulo 4 - Avaliação do Comportamento de Para-raios Poliméricos de Distribuição em Tanques de Aço Inox sob Clima Simulado – Envelhecimento Acelerado.....	78
4.1 Tanques de Ensaios.....	78
4.2 - Análise do Comportamento da Hidrofobicidade em Para-raios Poliméricos de Distribuição, após Sete Ciclos de Envelhecimento Acelerado.....	82
4.2.1 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante A nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.....	83
4.2.1.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante A nos Tanques 2 e 3.....	86
4.2.2 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante B nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.....	87
4.2.2.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante B nos Tanques 2 e 3.....	91
4.2.3 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante C nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.....	91
4.2.3.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante C nos Tanques 2 e 3.....	95
4.2.4 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante D nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.....	96
4.2.4.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante D nos Tanques 2 e 3.....	99
4.2.5 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante D nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.....	100

SUMÁRIO

4.2.5.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante D nos Tanques 2 e 3.....	103
4.3 – Avaliação Final do Desempenho da Hidrofobicidade entre os Fabricantes Analisados nesta Pesquisa.....	104
Capítulo 5 – Resultados dos Ensaio Elétricos em Para-raios de Distribuição.....	105
5.1 - Medição da Tensão Residual Inicial e Final.....	105
5.2 - Medição da Corrente de Fuga.....	109
5.2.1 - Sistema de medição de corrente de fuga e perdas de para-raios de óxido de zinco.....	109
Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações.....	113
Referências Bibliográficas.....	115

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Motivação

Para-raios são utilizados em redes de distribuição para a proteção de equipamentos do sistema elétrico e equipamentos de consumidores, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais.

Assim, a qualidade e a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica almejada pelas empresas concessionárias aos seus consumidores, estão associadas ao fornecimento de energia de forma contínua, ininterrupta e sem perturbações momentâneas significativas.

A disponibilidade no fornecimento de energia, ou seja, a capacidade do sistema elétrico de fornecer energia na quantidade desejada pelos consumidores e sem interrupção é, sem dúvida, um dos principais atributos para a medição do índice de qualidade para uma empresa concessionária de energia elétrica. Diversas causas podem influenciar negativamente a obtenção desse resultado, como transitórios devido à ocorrência de distúrbios nos sistemas elétricos, condições atmosféricas, configuração das redes, características de operação do sistema, necessidade de implementação de melhorias e/ou reparos ao longo das redes, etc.

Os sistemas elétricos estão submetidos esporadicamente a várias formas de fenômenos transitórios, envolvendo variações súbitas de tensão e de corrente provocadas por descargas atmosféricas, faltas no sistema ou operação de disjuntores e chaves seccionadoras. Desta forma, os equipamentos elétricos além de estarem permanentemente solicitados pela tensão de operação dos sistemas, serão eventualmente submetidos por solicitações de tensões temporárias e transitórias, provenientes da ocorrência de distúrbios nos sistemas.

Dentro desse contexto, as descargas atmosféricas têm sido reportadas como a principal causa dos desligamentos não programados ocorridos em redes de distribuição, bem como uma das principais causas de falhas reportadas em transformadores e demais equipamentos aplicados a redes de distribuição.

A contribuição das descargas atmosféricas para os índices de desligamentos das redes e falhas em equipamentos, geralmente é mais crítica em regiões com altos valores de densidade de descargas à terra (número de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano) e elevados valores de resistividade do solo, dependendo também da topografia da região e das características do sistema sob análise a ação das descargas atmosféricas.

O efeito das descargas atmosféricas sobre os índices de desempenho, continuidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica pelas empresas concessionárias de energia elétrica aos seus consumidores, depende significativamente do comportamento das redes de distribuição e dos equipamentos nelas instalados à ação dessas descargas.

Visando proteger os sistemas de distribuição, para-raios vêm sendo amplamente utilizados ao longo dos anos pelas empresas distribuidoras de energia elétrica, para limitar as amplitudes das sobretensões transitórias de origem atmosférica nos sistemas de distribuição e reduzir os efeitos dessas sobretensões sobre os equipamentos por eles protegidos.

Outro ponto, é que os para-raios instalados nas redes de distribuição ao redor do mundo, independente do modelo, tipo construtivo e material usado, ficam sujeitos continuamente à uma gama de diferentes solicitações elétricas e ambientais. Nas áreas tropicais como o Brasil, essas solicitações, são constituídas principalmente pelos níveis normalmente elevados de umidade, temperatura e índice isoceráunico.

Dentro deste contexto há a necessidade de uma avaliação mais criteriosa com relação à degradação do invólucro dos para-raios, levando em consideração a perda de hidrofobicidade após exposição a condições ambientais diversas.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento dos diferentes projetos construtivos de para-raios de distribuição disponíveis no mercado nacional e internacional, com foco na análise da hidrofobicidade dos invólucros, mediante a avaliação sob condições de temperatura, umidade e precipitação pluviométrica e alimentados com tensão de 8,4kV, em tanques de aço inox, Por se tratar de um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento associado ao Grupo Energisa, a pesquisa tem o foco principal na análise do comportamento dos para-raios para as condições ambientais definidas nas regiões de concessão do Grupo Energisa.

Para esta avaliação foram realizados ensaios hidrofobicidade, tensão residual e corrente de fuga, antes do início dos ensaios e após cada término dos ciclos. Os ciclos são de 24 horas por dia durante 23 dias, representando um ano de envelhecimento acelerado. Como meta para esta dissertação, foram analisados 7 anos de envelhecimento acelerado para os para-raios de distribuição, através da exposição às condições ambientais encontradas em campo.

Para análise final, foram comparados os resultados dos ensaios obtidos antes do início do primeiro ciclo, com os resultados dos ensaios após o sétimo ciclo, buscando verificar os efeitos globais da degradação das amostras, bem como a possibilidade das mesmas operarem de forma satisfatória após o período representado.

1.3 Revisão Bibliográfica

Os para-raios usados no início do século XX em sistemas de energia eram compostos inicialmente por um centelhador simples instalado entre a fase e o aterramento de equipamentos elétricos importantes ao sistema e em algumas terminações de linhas. A atuação deles era influenciada principalmente pela pressão atmosférica e pela umidade relativa do ar [1].

A função básica dos dispositivos de proteção contra sobretensões em redes de distribuição é a de limitar as amplitudes das sobretensões transitórias de frente rápida (geralmente de origem atmosférica) originadas nas redes de distribuição e reduzir os seus efeitos sobre os equipamentos e / ou sistemas por eles protegidos. Dentro desse contexto, os para-raios têm se mostrado como os mais efetivos e eficazes.

O primeiro dispositivo utilizado como para-raios foi um simples centelhador, denominado de centelhador tipo “chifre”, instalado entre a fase e a terra nas terminações de linha e equipamentos importantes, e que utilizava como meio dielétrico o próprio ar. A atuação deste tipo de para-raios era fortemente influenciada pelas condições atmosféricas [1].

A partir deste desenvolvimento, a tecnologia dos para-raios para aplicação em redes de distribuição passou por inúmeras modificações e períodos de utilização, resultando nos para-raios de Caruneto de Silício com centelhadores série e invólucros de porcelana e, posteriormente, nos para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) com ou sem centelhadores série e invólucros de porcelana. Os detalhes construtivos e princípios de funcionamento desses para-raios são apresentados nas referências [1, 2, 3].

Uma evolução tecnológica bastante significativa surgiu em meados da década de 80, com a introdução dos para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) com invólucros poliméricos.

Existem basicamente três concepções de projetos para para-raios de ZnO com invólucros poliméricos utilizados em redes de distribuição [2]:

Na primeira concepção, o invólucro polimérico é moldado e, posteriormente, encapsulado sobre o conjunto de blocos de ZnO envoltos geralmente em um material de fibra de vidro impregnado em resina epóxi. A interface entre o material de fibra de vidro e a parte interna do invólucro polimérico é geralmente preenchida por fluído de silicone de modo a evitar espaços internos de ar que podem vir a gerar descargas parciais. Portanto, para este tipo de projeto, os processos de preenchimento dos possíveis espaços de ar e de fechamento do para-raios são essenciais para o bom desempenho do para-raios. Essa concepção está ilustrada na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Detalhes do projeto construtivo de para-raios moldado.

Fonte: Ohio Brass.

Na segunda concepção de projeto, de forma similar a primeira, o conjunto de blocos de ZnO é encapsulado em um material geralmente de fibra de vidro impregnado em resina epóxi. A diferença significativa nessa concepção está no processo de aplicação do invólucro polimérico, que neste caso é feito através de injeção ou de vulcanização direta. Essa concepção de projeto apresenta como maior vantagem em relação a primeira, pela ausência da flange para o fechamento do para-raios reduzindo, desta forma, a possibilidade de penetração de umidade no

interior do para-raios por efeito capilaridade através dos flanges terminais. O processo de montagem do invólucro diretamente sobre o conjunto encapsulado também reduz a possibilidade da existência de espaços de ar. No entanto, há a necessidade de um controle visando um processo de injeção (ou de vulcanização) homogêneo, de forma a evitar a formação de bolhas de ar, que podem resultar na formação de descargas parciais que podem conduzir a uma degradação do para-raios ao longo do tempo.

Essa concepção de projeto está ilustrada na Figura 1.2.

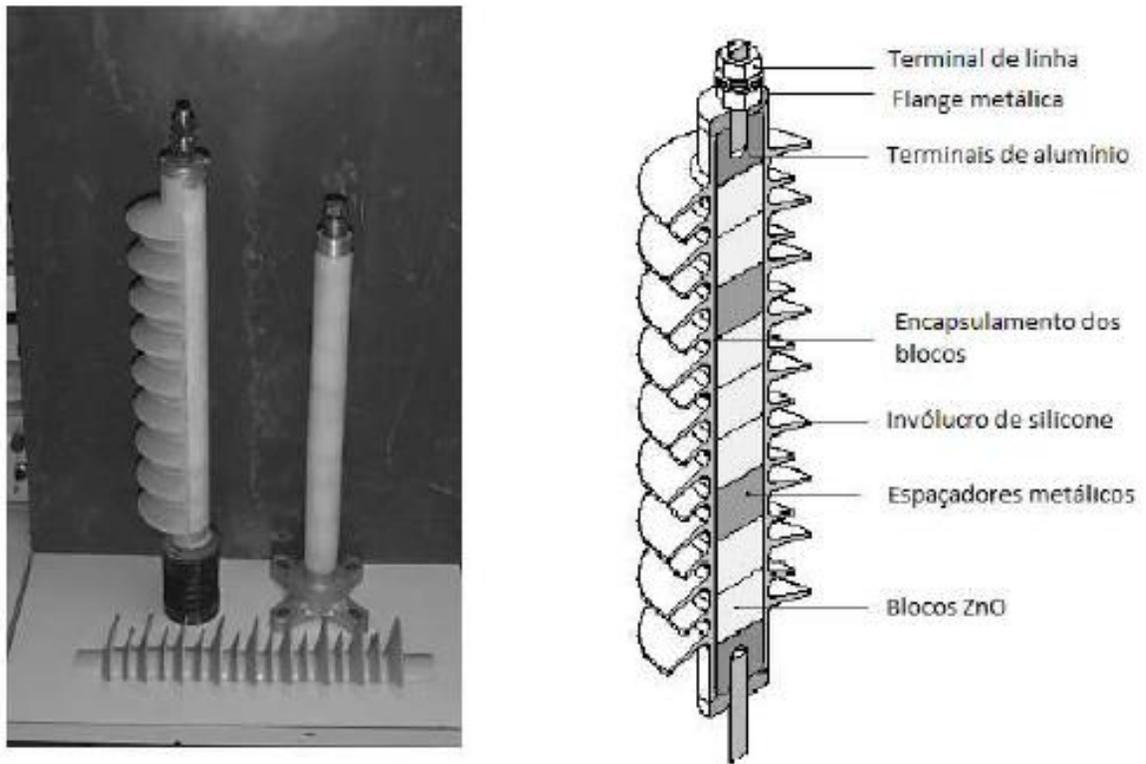


Figura 1.2 – Detalhes do projeto construtivo de para-raios diretamente injetado.

Fonte: TE Connectivity.

As duas concepções de projeto acima são conhecidas como “wrapped design” devido seu princípio de montagem e representam as concepções dos primeiros para-raios poliméricos desenvolvidos para aplicação em redes de distribuição em meados da década de 80 [4]. Devido à simplicidade de construção, essa concepção ainda vem sendo amplamente utilizada em projetos de para-raios para aplicação em redes de distribuição.

A terceira concepção consiste em um conceito de projeto mecânico bem diferente das duas primeiras concepções, conhecido como projeto tipo gaiola ou “cage design” onde as solicitações mecânicas do para-raios são garantidas pela própria coluna de blocos de ZnO.

Esta concepção de projeto foi inicialmente desenvolvida para para-raios de distribuição, sendo posteriormente expandida para os para-raios para aplicação em subestações e linhas de transmissão. A principal vantagem dessa concepção de projeto, em relação às anteriores, está na maior suportabilidade mecânica, associada ao seu bom desempenho para as condições requeridas no ensaio de curto-circuito.

A Figura 1.3 apresenta os detalhes construtivos de projetos de para-raios tipo gaiola, utilizados pelos fabricantes respectivamente, ABB, Siemens e TE Connectivity.

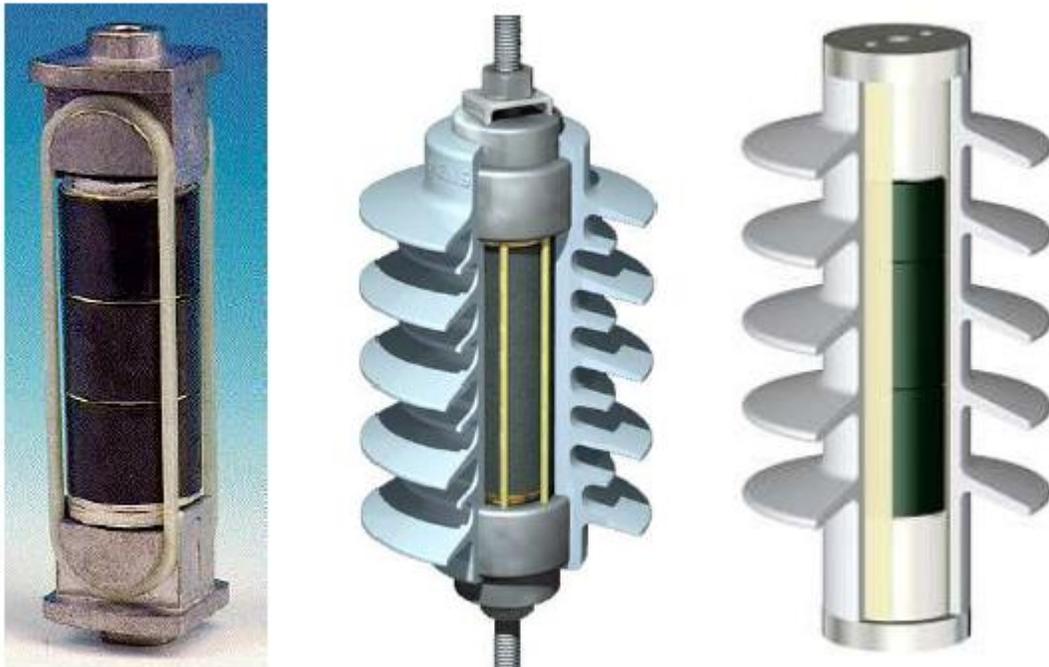


Figura 1.3 – Detalhes de projetos de para-raios tipo gaiola.

Fonte: ABB, Siemens e TE Connectivity.

A Figura 1.4 extraída da referência [5] apresenta os componentes básicos encontrados nas concepções de projetos de para-raios com invólucros poliméricos moldados e diretamente injetados (ou vulcanizados).

- 1- Resistores não-lineares;
- 2- Terminações metálicas;
- 3 -Suporte mecânico (wrapping ou gaiola);
- 4- Invólucro polimérico (silicone, EPDM, EPM, EVA ou ligas);
- 5- Eletrodos metálicos (espaçadores);
- 6- Interface entre o polímero e o suporte mecânico;
- 7- Flanges metálicos

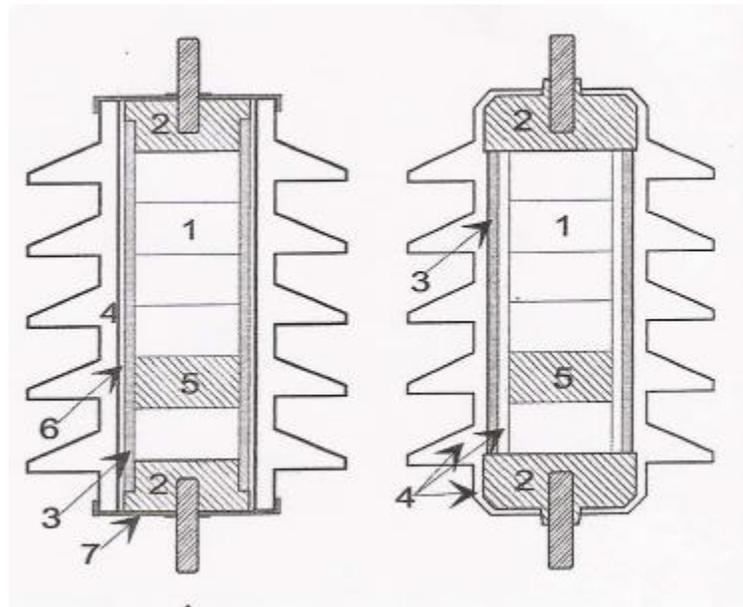


Figura 1.4 – Componentes de para-raios moldados e injetados [5].

A principal diferença nos componentes utilizados na montagem desses para-raios está na existência de uma interface entre o polímero e o suporte isolante e nos flanges metálicos, os quais são encontrados apenas nos para-raios moldados.

A utilização de materiais poliméricos como invólucros de para-raios consiste em uma tecnologia relativamente nova, com menos de 30 anos de utilização e, por isso, ainda não existe muita literatura técnica e científica, apresentando informações mais detalhadas referentes aos processos e mecanismos de envelhecimento e de degradação progressiva dos para-raios de distribuição com invólucros poliméricos devido aos fatores ambientais.

No que se refere à penetração de umidade, a literatura existente apresenta basicamente três possíveis formas de projetos de para-raios com invólucros poliméricos:

- a primeira, inerente aos projetos de para-raios moldados, por efeito capilaridade através do sistema de vedação, devido à existência dos flanges metálicos necessários para o fechamento dos para-raios;

- a segunda, resultado da possibilidade de reações químicas iniciadas por atividades de descargas internas, sendo minimizada pelo uso de materiais adequados e por um bom processo de produção, de forma a evitar atividades elétricas internas na interface entre os blocos de ZnO e o invólucro polimérico;

- a terceira, consiste na penetração de umidade por difusão através do invólucro polimérico ou por efeito capilaridade através de pontos quebradiços ou outras imperfeições no composto polimérico.

A penetração de umidade através do material polimérico está relacionada com o tipo de composição do material polimérico, possíveis imperfeições no invólucro, elevadas solicitações elétricas aplicadas ao invólucro, condições ambientais, etc, sendo influenciada tanto pelo projeto, quanto pelo processo de produção.

A Figura 1.5, sintetiza as informações apresentadas acima [5].

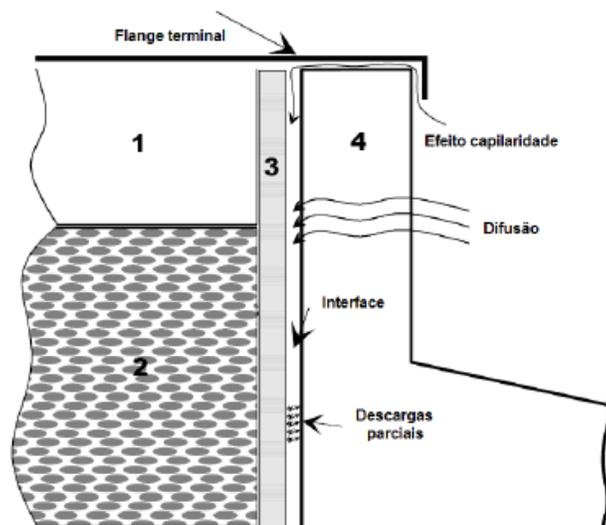


Figura 1.5 – Possíveis formas de penetração de umidade em para-raios com invólucros poliméricos [5].

A degradação e o envelhecimento dos materiais e da estrutura dos para-raios devido a condições climáticas adversas também propiciam a penetração de umidade no interior dos para-raios poliméricos.

No caso da ocorrência de penetração de umidade no interior do para-raios um fluxo de corrente interna se inicia durante a aplicação de uma solicitação de tensão aplicada ao para-raios, criando um “caminho” para a passagem da corrente de fuga. Dependendo do fluxo de corrente e da potência dissipada, esta corrente de fuga pode causar um trilhamento elétrico através do material. Por outro lado, a circulação de uma corrente de fuga interna pode acelerar o processo de penetração de umidade no para-raios, devido ao “enfraquecimento” das propriedades dos materiais ou devido ao processo de degradação da sua estrutura interna.

Muitos desenvolvimentos a nível mundial têm buscado qualificar e quantificar as falhas nos para-raios com invólucro polimérico seja através de ensaios relacionados à penetração de umidade conforme apresentado em [5], ou buscando representar o comportamento desses dispositivos através da simulação em laboratório para diferentes condições ambientais conforme [6] e [7].

A IEC Standard 60099-4, conforme em [8], apresenta ensaios específicos para os para-raios com invólucro polimérico, no entanto, faz-se necessário o desenvolvimento de novos estudos, englobando entre outros, os principais responsáveis por sua degradação conforme abordado detalhadamente em [5].

1.4 Apresentação da Dissertação

Com o objetivo de melhor descrever o trabalho realizado e os resultados alcançados no desenvolvimento do estudo “Avaliação do Comportamento de Para-raios Poliméricos de Distribuição, Sob Clima Simulado – Envelhecimento Acelerado – Análise da Hidrofobicidade”, esta dissertação foi organizada em capítulos, conforme a seguir.

O capítulo 1 fornece uma visão geral sobre a utilização dos para-raios em sistemas elétricos, os principais fatores que levaram a escolha do tema, bem como o objetivo desse trabalho. Segue ainda com uma breve revisão bibliográfica e a apresentação de cinco trabalhos publicados durante a pesquisa.

No capítulo 2 apresenta-se um levantamento das condições ambientais, juntamente com as informações técnicas e comerciais das empresas sob concessão do Grupo Energisa.

O capítulo 3 mostra um estudo sobre a hidrofobicidade em invólucros de para-raios poliméricos de distribuição.

No capítulo 4 tem-se a avaliação do comportamento de para-raios poliméricos de distribuição em tanques de aço inox sob clima simulado – envelhecimento acelerado/hidrofobicidade.

No capítulo 5 mostra-se a análise da tensão residual e da corrente de fuga dos para-raios poliméricos.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões e recomendações referentes ao desenvolvimento deste trabalho.

1.5 Trabalhos Publicados

D. A. Silva, E. C. M. Costa, J. L. Franco, S. R. Abreu, R. C. Jesus, M. Antonionni, J. Pissolato; Polymer Surge Arresters; Degradation Versus Electrical Performance; EPEC_2012 – Canadá.

D. A. da Silva, E. C. M. Costa, J. L. de Franco , R. C. de Jesus, S. R. de Abreu, M. A. A. Romano, J. Pissolato, K. Lahti; Evaluation of the Moisture Ingress and the Electrical Performance on Polymeric Surge Arresters of Distribution Networks; ISH_2013 – Coréia.

D. A. da Silva, E. C. M. Costa, J. L. de Franco , R. C. de Jesus, S. R. de Abreu, M. A. A. Romano, L. H. I Mei J. Pissolato Reliability fo Directly-Molded Polymer Surge Arresters: Degradation by Immersion Test versus Electrical Performance; International Journal of Electrical Power and Energy Systems – ELSEVIER – 2013-Inglaterra.

R. C. Jesus, J. Pissolato, J. L. Franco, S. R. Abreu, D. A. Silva¹, M. A.A. Romano, E. C. M. Costa, L. H. I. Mei; Hydrofobicity Classification of Distribution Silicone Arresters Before and After Solid Layer Contamination; ISH_2013 – Coréia.

R. C. de Jesus, J. Pissolato, J. L. de Franco, S. R. de Abreu, D. A. da Silva, M. A. A. Romano, E. C. M. Costa and L. H. I. Mei; Hydrofobicity Classification of Silicone Surge Arrester Before and After Immersion in Deionized Water; ISH_2013 – Coréia.

Capítulo 2 – Condições Ambientais

2.1 Introdução

Buscando fornecer informações representativas do clima das diversas áreas sob concessão do grupo Energisa, foi realizado um estudo, a fim de embasar a tomada de decisão na definição de critérios técnicos para a execução do experimento de operação dos para-raios em regime permanente sob clima simulado.

Segundo dados do grupo de eletricidade atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ELAT-INPE), cerca de 50-100 raios ocorrem no mundo a cada segundo, o que equivale a cerca de 5 a 10 milhões por dia ou cerca de 1 a 3 bilhões por ano. No Brasil, estima-se que ocorram 60 milhões de raios nuvem-solo por ano (ELAT, 2012) [9].

Os prejuízos proporcionados pela queda de raios são enormes e abrangem vários setores da sociedade. No que tange ao setor elétrico, as descargas atmosféricas são responsáveis por aproximadamente 50 – 70% dos desligamentos não programados que ocorrem em redes e linhas de sub-transmissão e transmissão do sistema elétrico brasileiro com tensões nominais até 230 kV, sendo este efeito mais crítico em linhas atravessando regiões com elevados índices de atividades elétricas e elevados valores de resistividade do solo.

Diversos estudos e programas de pesquisa têm sido desenvolvidos e reportados em literatura objetivando um melhor entendimento dos fenômenos associados à incidência de descargas atmosféricas em linhas aéreas de sub-transmissão e transmissão, bem como o efeito das descargas sobre os diversos componentes da linha e a influência individual ou combinada desses componentes na tensão transitória resultante que se estabelece na isolação da linha.

Outros estudos abordam o registro da ocorrência de descargas atmosféricas através de redes de detecção de raios e sua relação com o ponto de incidência, estabelecendo correlações entre descargas e tipos de solo ou relevo, descargas e tipos de fenômenos climáticos associados, como por exemplo, a incidência de descargas na borda de um sistema meteorológico periódico.

2.2 Levantamento de Informações Técnicas e Comerciais das Áreas Sob Concessão do Grupo Energisa

2.2.1 O Grupo Energisa

O grupo Energisa surgiu em 2007, como resultado da incorporação do sistema Cataguases-Leopoldina, antiga holding do setor de energia elétrica. É composta por nove empresas, como segue: Energisa Minas Gerais; Energisa Nova Friburgo; Energisa Borborema; Energisa Sergipe; Energisa Paraíba; Energisa Serviços Aéreos; Energisa Soluções; Energisa Comercializadora e Energisa Geração.

As áreas nas quais atuam as empresas distribuidoras de energia elétrica do grupo Energisa constituem o escopo do estudo, de modo que foram analisadas mais detalhadamente.

2.2.1.1 Energisa Minas Gerais

A Energisa Minas Gerais é a mais antiga distribuidora do grupo, formada a partir da Companhia Força e Luz Cataguases-Leopoldina. Atende 66 municípios da zona da mata mineira e Sumidouro, no Rio de Janeiro, levando energia elétrica a uma população de aproximadamente 979 mil habitantes distribuídos em uma área de 16.331 Km² (Energisa Minas Gerais, 2012) [10].

A tabela 2.1 apresenta os indicadores e índices da Energisa Minas Gerais.

Tabela 2.1 - Dados técnicos da Energisa Minas Gerais.

Fonte: Energisa Minas Gerais, 2012.

DADOS TÉCNICOS	Dez/2011
DEC (duração anual dos desligamentos em horas)	9,80
FEC (frequência anual dos desligamentos em nº de vezes)	8,66
Nº de Subestações	44
Capacidade instalada nas Subestações (MVA)	878
Nº de Transformadores de Distribuição	55.537
Linhas de Distribuição Urbana e Rural (km)	25.464

2.2.1.2 Energisa Nova Friburgo

A Energisa Nova Friburgo, antiga Companhia de Eletricidade de Nova Friburgo (CENF), é uma concessionária de energia elétrica que atende a todo o município de Nova Friburgo. Atua na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para 94 mil consumidores, o que corresponde a uma população de 182 mil pessoas (Energisa Nova Friburgo, 2012) [11].

A tabela 2.2 apresenta os indicadores e índices da Energisa Nova Friburgo.

Tabela 2.2 - Dados técnicos da Energisa Nova Friburgo.

Fonte: Energisa Nova Friburgo, 2012.

DADOS TÉCNICOS	Dez/2011
DEC (duração anual dos desligamentos em horas)	13,37
FEC (frequência anual dos desligamentos em nº de vezes)	10,33
Nº de Subestações	6
Capacidade instalada nas Subestações (MVA)	127
Nº de Transformadores de Distribuição	3.347
Linhas de Distribuição Urbana e Rural (km)	1.849

2.2.1.3 Energisa Paraíba

A Energisa Paraíba, formada a partir da aquisição da antiga Sociedade Anônima de Eletrificação da Paraíba (Saelpa) em março de 2007, atende 96% do estado da Paraíba, o que representa 216 municípios e uma população de mais de 3 milhões de habitantes (Energisa Paraíba, 2012) [12].

A tabela 2.3 apresenta os indicadores e índices da Energisa Paraíba.

Tabela 2.3 - Dados técnicos da Energisa Paraíba.

Fonte: Energisa Paraíba, 2012.

DADOS TÉCNICOS	Dezembro/2010
DEC (duração anual dos desligamentos em horas)	29,40
FEC (frequência anual dos desligamentos em nº de vezes)	15,97
Linhas de Transmissão (km)	1.969
Nº de Subestações	58
Nº de Transformadores de Distribuição	45.318
Linhas de Distribuição Urbana e Rural (km)	67.232
Potência Instalada Total de Distribuição (MVA)	1.927

2.2.1.4 Energisa Sergipe

A Energisa Sergipe, antiga Empresa Energética de Sergipe, atende 517 mil consumidores, o que equivale a uma população de aproximadamente 2 milhões de habitantes, distribuídos em 63 municípios (Energisa Sergipe, 2012) [13].

A tabela 2.4 apresenta os indicadores e índices da Energisa Sergipe.

Tabela 2.4 - Dados técnicos da Energisa Sergipe.

Fonte: Energisa Sergipe, 2012.

DADOS TÉCNICOS	Dez 2007
DEC (duração anual dos desligamentos em horas)	15,66
FEC (frequência anual dos desligamentos em nº de vezes)	11,22
Linhas de Transmissão (km)	974
Nº de Subestações	23
Nº de Transformadores de Distribuição	23.260
Linhas de Distribuição Urbana e Rural (km)	18.904
Potência Instalada Total de Distribuição (MVA)	518

2.2.2 Levantamento das Condições Climáticas das Áreas Sob Concessão do Grupo Energisa

No intuito de conhecer a climatologia das áreas de atuação das concessionárias do grupo Energisa, de forma a estabelecer critérios ambientais contextualizados para a realização do experimento com para-raios, foram levantadas informações sobre temperatura, umidade, precipitação pluviométrica, radiação solar, índice de contaminação e de incidência de descargas atmosféricas dos municípios que são atendidos pela Energisa.

As informações relativas às variáveis climáticas contidas neste trabalho foram obtidas a partir do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Operador Nacional do Sistema (ONS, 2011)[14,15].

Os dados foram adquiridos junto aos órgãos citados através dos seus respectivos portais de internet e comunicação pessoal. No caso do INMET, foi encaminhada mídia física.

Quanto ao ONS, um arquivo contendo um mapa densidade de descargas atmosféricas foi cedido a Unicamp, através de contato prévio.

O material obtido junto ao INMET contempla todos os dados registrados pelas estações meteorológicas convencionais do período de 2001 a 2011. Este intervalo foi definido por se tratar de um ciclo solar completo, o que representa todas as características periódicas de absorção dos mais variados comprimentos de onda vindos do sol (Rigozo, 1998)[16].

Os dados foram fornecidos em formato texto com os campos separados por ponto e vírgula (Figura 2.1). A massa bruta de dados contém 13 campos (estação, data, hora, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, pressão atmosférica, direção do vento, velocidade do vento e índice de radiação ultravioleta) e aproximadamente 12 mil registros para cada estação meteorológica, sendo 19 estações selecionadas, o que resulta em um total de aproximadamente 3 milhões de registros processados.

```

Estacao;Data;Hora;Precipitacao;TempBulboSeco;TempBulboUmido;TempMaxima;TempMinima;UmidadeRelativa;Pre
ssaoAtmEstacao;DirecaoVento;VelocidadeVentoInsolacao;
83642;01/01/2001;0000;;20.6;20;25.2;;94;932.8;27;0.5;0;
83642;01/01/2001;1200;14;21;20.8;;20.1;98;933;27;0.3;;
83642;01/01/2001;1800;;24.8;22.8;;;84;931.4;27;1.5;;
83642;02/01/2001;0000;;21.8;20.2;27;;86;934;32;0.5;2.2;
83642;02/01/2001;1200;26.2;21;19.6;;18.8;87;934.9;23;2;;
83642;02/01/2001;1800;;26.4;23;;;74;931.5;23;0.8;;
83642;03/01/2001;0000;;20.6;20.4;23.2;;98;934;0;0;0;
83642;03/01/2001;1200;108.6;22;21.2;;20;93;937;27;0.5;;
83642;03/01/2001;1800;;22.6;22;;;95;934.6;27;1.6;;

```

Figura 2.1 - Exemplo de formato dos dados fornecidos. (Fonte: INMET/ONS – 2011)

De posse dos dados, seguiu-se uma etapa de processamento com a finalidade de extrair as informações relevantes ao estudo. Visando um melhor manuseio dos dados, estes foram convertidos para o formato de planilhas eletrônicas. Após isso, foram aplicados filtros para selecionar as variáveis de interesse, de modo a montar novas planilhas com os dados selecionados. Finalmente, os dados foram agrupados em médias mensais e anuais para cada um dos estados e cidades componentes do estudo.

As informações relacionadas às descargas atmosféricas, obtidas junto ao ONS[15], contêm dados de densidade de descargas atmosféricas, em descargas por quilômetro quadrado por ano, no período compreendido entre 1998 e 2009. A Figura 2.2 apresenta o mapa cedido em baixa resolução.

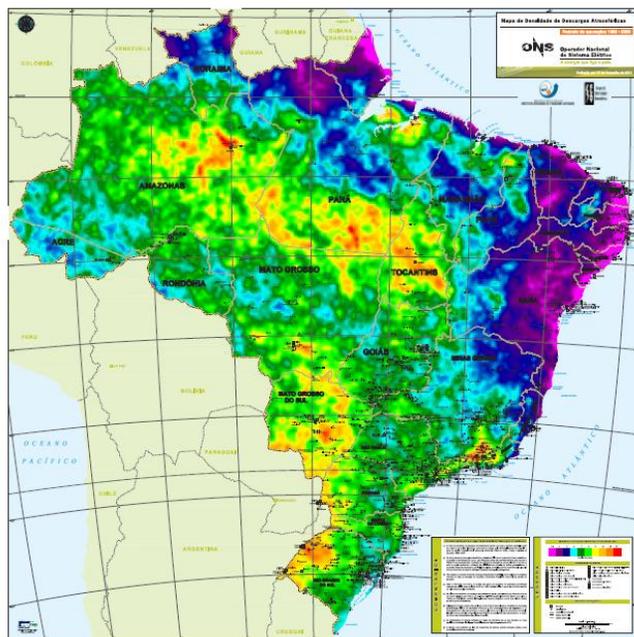


Figura 2.2 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas. Fonte: ONS, 2011.

A fim de conhecer as densidades de descargas atmosféricas dos locais de interesse para o estudo, foram feitos recortes das áreas pesquisadas e as cidades foram indicadas com marcadores.

2.3 Resultados do Levantamento das Condições Climáticas

Os resultados são apresentados em duas etapas. Na primeira etapa são apresentados os resumos por estado, traçando comparações entre as cidades estudadas para cada variável. Em um segundo momento são feitas comparações entre cidades de estados diferentes, a fim de observar os casos críticos relacionados às variáveis.

As cidades estudadas e seus respectivos estados são: Barbacena (MG), Caparaó (MG), Caratinga (MG), Coronel Pacheco (MG), Viçosa (MG), Areia (PB), Campina Grande (PB), João Pessoa (PB), Monteiro (PB), Patos (PB), São Gonçalo (PB), Carmo (RJ), Cordeiro (RJ), Itaperuna (RJ), Santo Antônio de Pádua (RJ), Teresópolis (RJ), Aracaju (SE), Itabaianinha (SE) e Propriá (SE).

Para cada cidade, são analisadas 5 variáveis, sendo: precipitação acumulada, temperatura (subdividida em máxima e mínima), umidade relativa, radiação ultravioleta e densidade de descargas atmosféricas.

2.3.1 Minas Gerais - Precipitação Acumulada

O Gráfico 2. apresenta a compilação dos dados referentes às cidades de Minas Gerais para a variável precipitação acumulada.

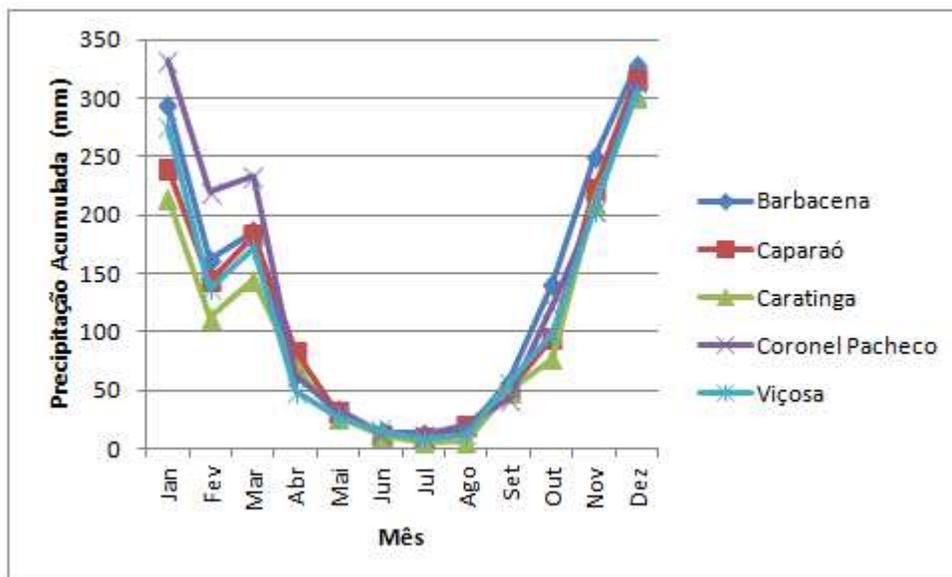


Gráfico 2. 1 – Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.

Ressalta-se que a precipitação acumulada mostrada no gráfico 2.1, é a media das precipitações acumuladas das cidades estudadas no período de 2001 a 2011.

Como esperado, as cidades apresentam perfis de precipitação semelhantes, visto que estão em uma mesma região. O comportamento observado no gráfico define claramente um período chuvoso (outubro/novembro a fevereiro/março) e um período seco (abril a setembro) para as cidades região.

Pode-se observar ainda que a cidade de Coronel Pacheco possui o maior perfil de precipitação acumulada.

2.3.2 Minas Gerais – Temperaturas Máxima e Mínima

A variável temperatura foi dividida e analisada em duas formas, a máxima da temperatura máxima e a mínima da temperatura mínima do dia. Essas duas sub-variáveis possuem a

informação dos extremos de temperatura para as cidades e regiões analisadas neste estudo. O Gráfico 2.2 apresenta os resultados obtidos com relação a temperatura máxima.

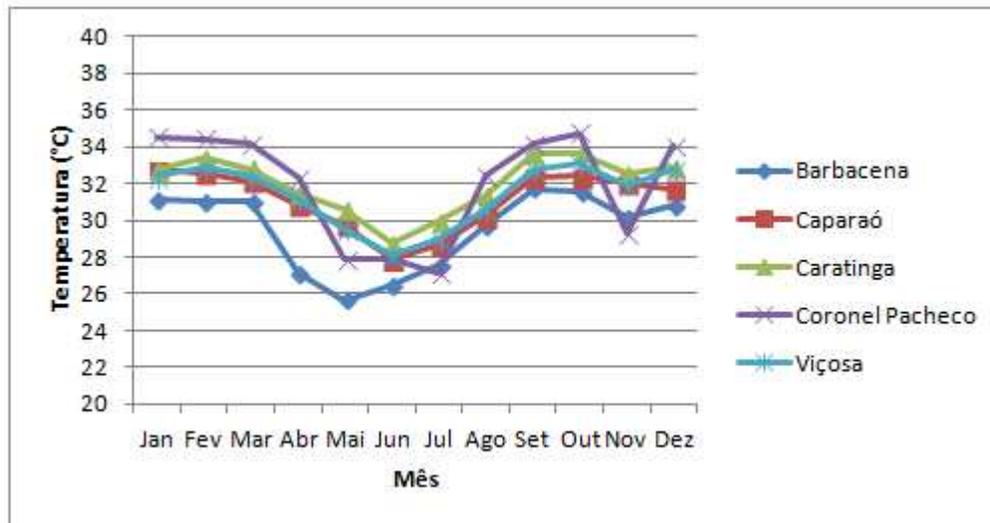


Gráfico 2.2 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.

Dentre as temperaturas máximas mostradas, percebe-se uma evidente semelhança no perfil de temperatura entre as cidades, apresentando Coronel Pacheco a maior temperatura máxima em vários períodos. De forma geral, as maiores temperaturas ocorrem nos períodos de janeiro a março e setembro a dezembro.

As temperaturas mínimas podem ser vistas no Gráfico 2.3.

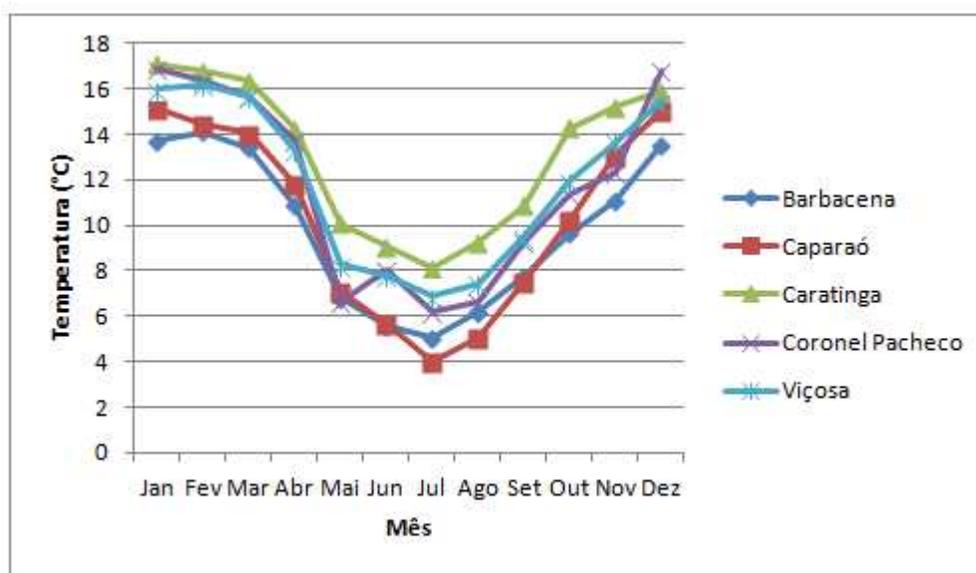


Gráfico 2.3 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.

Quanto ao valor da temperatura mínima, a cidade de Caparaó registrou no mês de julho a menor temperatura mínima (4°C). As menores temperaturas ocorrem, de forma generalizada, entre os meses de maio e setembro.

2.3.3 Minas Gerais – Umidade Relativa

As umidades relativas médias registradas pelas estações meteorológicas automáticas para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais, são apresentadas no Gráfico 2.4.

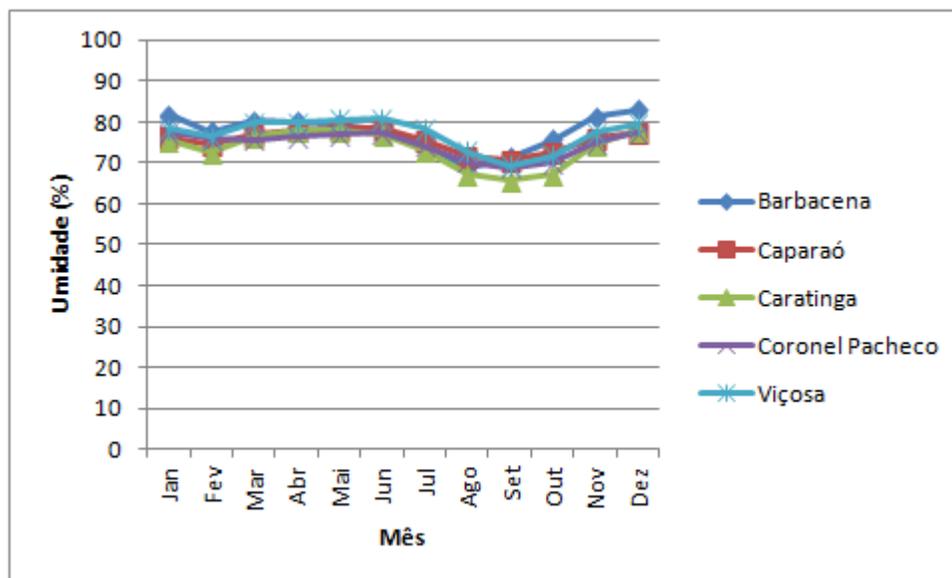


Gráfico 2.4 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.

Assim como em gráficos anteriormente apresentados, a umidade registrada para as cidades de Minas Gerais apresentam semelhanças entre seus perfis. As cidades apresentaram umidade média entre 70 e 80%.

A cidade de Viçosa apresentou a maior média de umidade relativa observada.

2.3.4 Minas Gerais – Radiação Ultravioleta

As médias de incidência de radiação ultravioleta relativas às cidades de Minas Gerais são apresentadas no Gráfico 2.5.

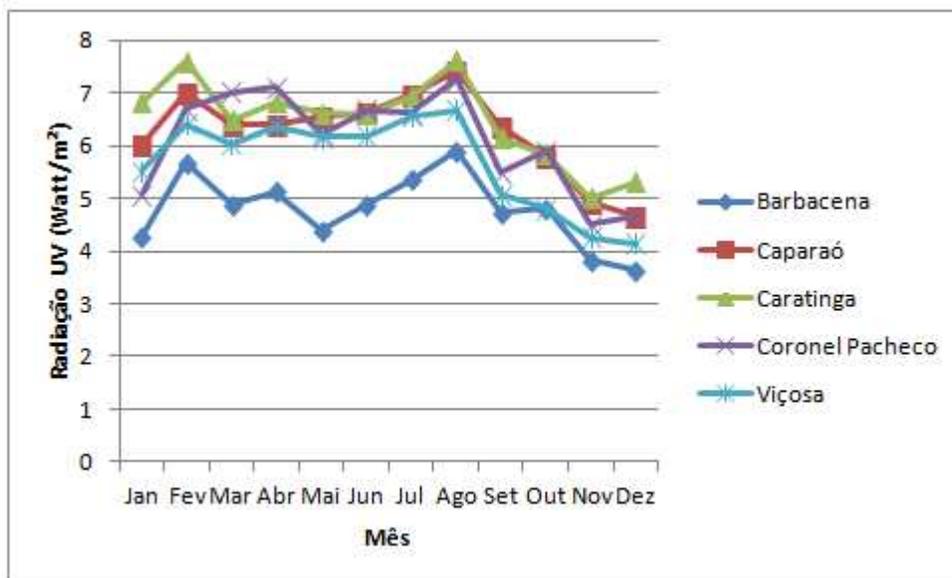


Gráfico 2.5 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais.

A partir da observação do gráfico 2.5, destaca-se a cidade de Caratinga como a cidade que sofre maior incidência de radiação ultravioleta.

2.3.5 Minas Gerais – Descargas Atmosféricas

Um mapa de descargas atmosféricas com recorte na região de interesse é apresentado na Figura 2.3. As cidades estudadas estão representadas por marcadores circulares amarelos.

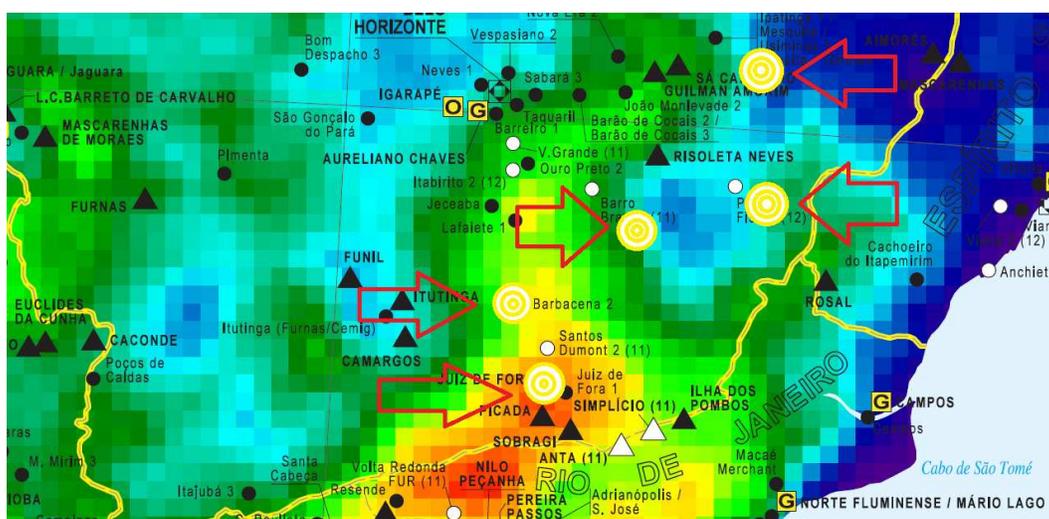


Figura 2.3 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado de Minas Gerais. (Fonte: ONS, 2011)

A densidade de descargas atmosféricas, em descargas/km²/ano, para as cidades de Minas Gerais são: Coronel Pacheco 11 a 13 descargas/km²/ano; Barbacena, 9 a 11 descargas/km²/ano; Viçosa e Caparaó, 5 a 7 descargas/km²/ano e Caratinga 3 a 5 descargas/km²/ano.

2.3.6 Paraíba - Precipitação Acumulada

As médias de precipitação acumulada para as cidades da Paraíba participantes do estudo são apresentadas no Gráfico 2.6.

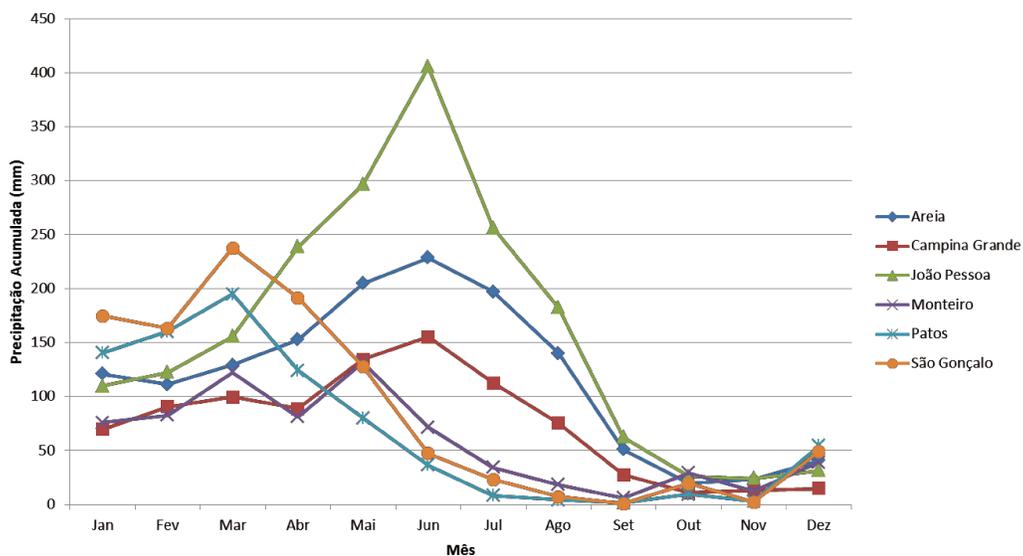


Gráfico 2.6 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.

Pode-se inferir através da observação do Gráfico , que o período chuvoso das cidades da Paraíba acontece entre os meses de abril e setembro e o período seco ocorre no final do ano, entre os meses de outubro e dezembro. A cidade de João Pessoa apresenta a maior precipitação acumulada média e o pico de precipitação registrado de 400 milímetros de chuva.

2.3.7 Paraíba – Temperaturas Máxima e Mínima

O Gráfico 2.7 apresenta o máximo das temperaturas máximas para as cidades da Paraíba.

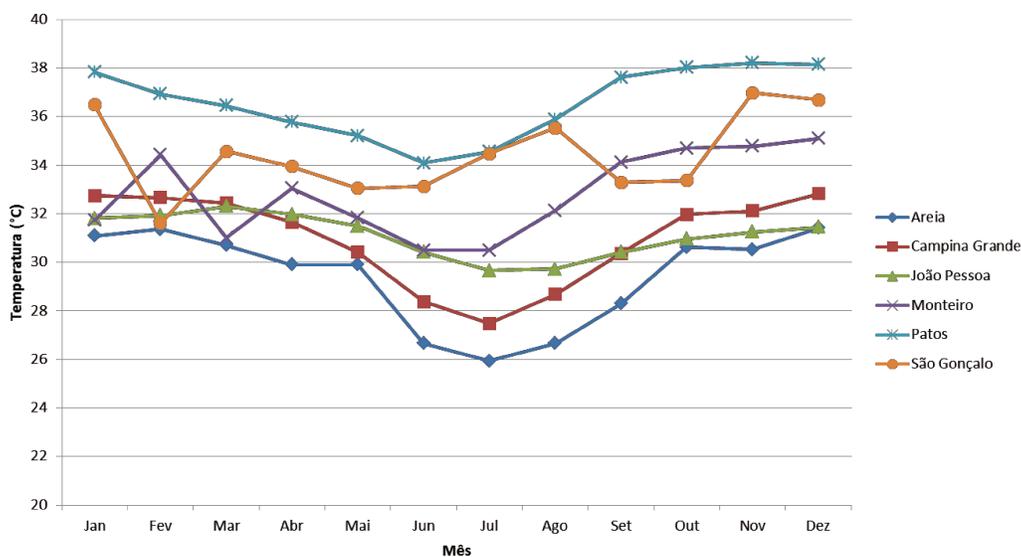


Gráfico 2.7 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.

A cidade de Patos apresenta maior máxima entre temperaturas máximas coletadas para as cidades da Paraíba, como pode ser observado no gráfico 2.7. A temperatura máxima da cidade de Patos fica entre 34°C e 38°C.

As mínimas das temperaturas mínimas para as cidades da Paraíba são apresentadas no Gráfico 2.8.

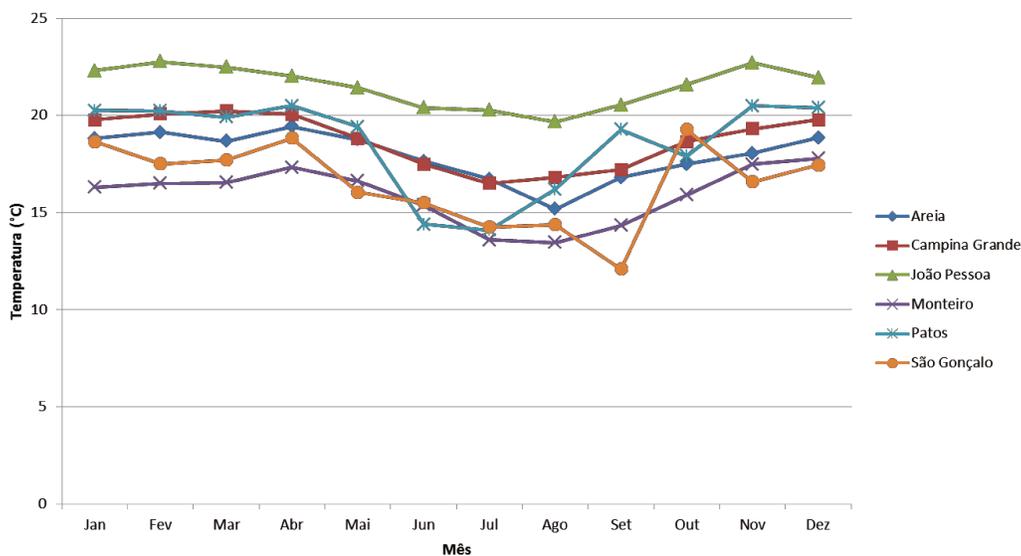


Gráfico 2.8 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado da Paraíba.

Observando o gráfico 2.8, podemos inferir que a cidade de São Gonçalo possui a menor temperatura mínima, variando entre 13°C e 19°C. As menores temperaturas para as cidades avaliadas ocorrem no período de maio a setembro, meses que, conforme observado anteriormente, possuem grande precipitação pluviométrica acumulada.

2.3.8 Paraíba – Umidade Relativa

Os perfis de umidade relativa média para as cidades da Paraíba são apresentados no Gráfico 2.9.

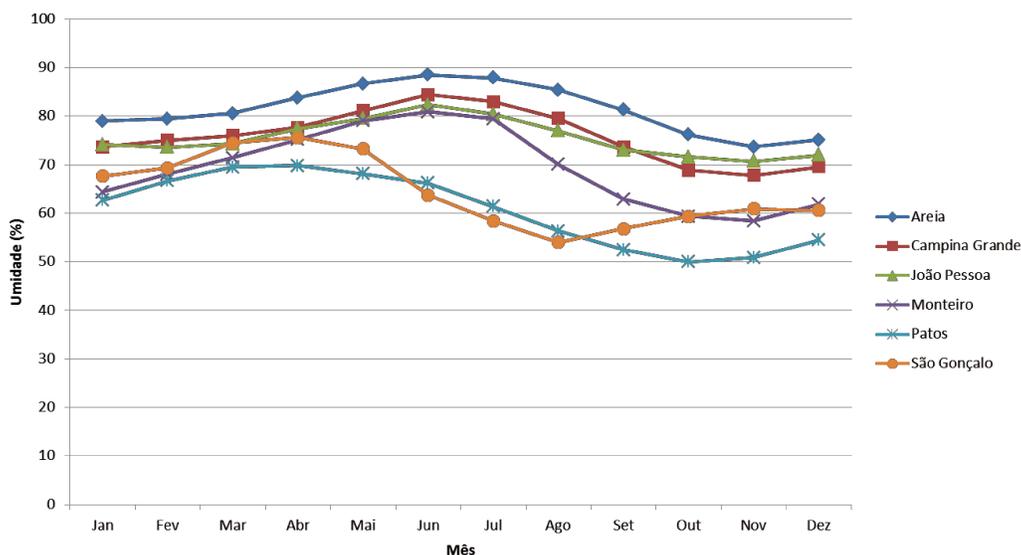


Gráfico 2.9 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado da Paraíba.

Pode-se constatar, através da observação do Gráfico 2.9, que a umidade relativa das cidades da Paraíba possuem significativa desconformidade entre si, variando entre 50 a 80%. A cidade de Patos possui menor umidade relativa, em torno de 50 - 70%. A cidade de Areia destaca-se com o maior perfil de umidade relativa, chegando a médias de umidades de aproximadamente 90%.

2.3.9 Paraíba – Radiação Ultravioleta

As médias de radiação ultravioleta para as cidades da Paraíba estão apresentadas no Gráfico 2.10.

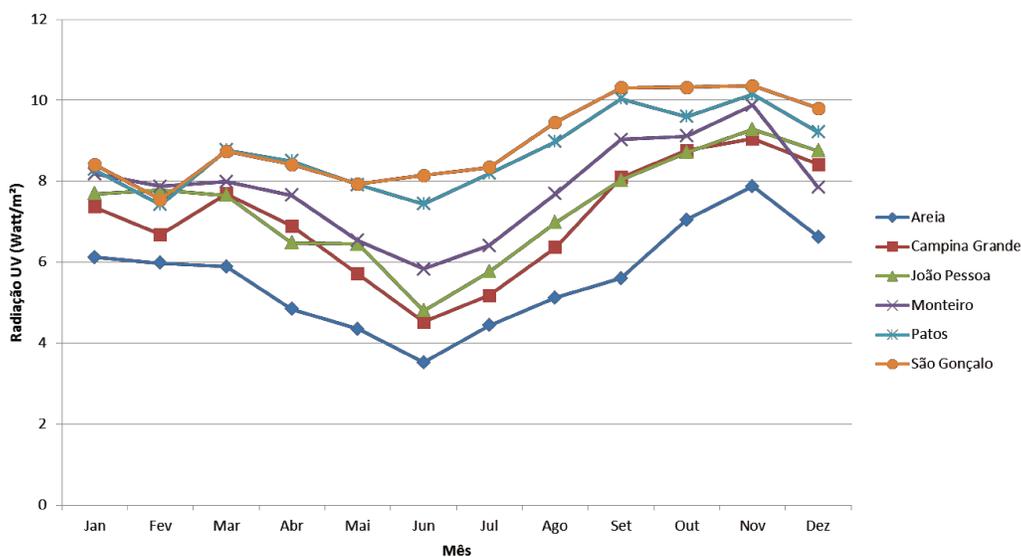


Gráfico 2.10 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado da Paraíba.

Com índices de radiação ultravioleta variando entre 7 e 10 Watt/m², a cidade São Gonçalo apresenta maior índice de radiação UV. Os meses com maiores valores de radiação compreendem o período de agosto a dezembro.

2.3.10 Paraíba – Descargas Atmosféricas

A Figura 2.4 apresenta um mapa de densidade de descargas atmosféricas para o estado da Paraíba. As cidades que compõem o estudo são representadas por marcadores amarelos.

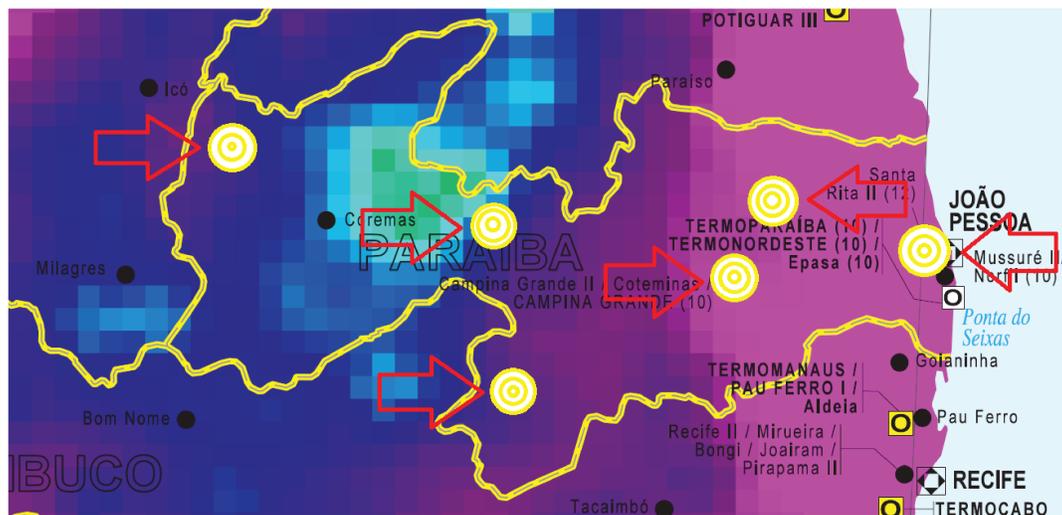


Figura 2.4 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado da Paraíba. (Fonte: ONS, 2011)

A densidade de descargas atmosféricas (em descargas/km²/ano) para as cidades observadas na Paraíba são: Areia, 0,5 - 1; Campina Grande, 0,5 - 1; João Pessoa, 0,5; Monteiro, 1 - 3; Patos, 3 - 5; São Gonçalo, 1 - 3.

2.3.11 Rio de Janeiro – Precipitação Acumulada

As estações meteorológicas automáticas cujos dados foram utilizados para compor o estudo estão localizadas em cinco cidades do Rio de Janeiro, sendo: Carmo, Cordeiro, Itaperuna, Santo Antônio de Pádua e Teresópolis. Estas estações representam o clima da parte leste da Zona da Mata Mineira, área sob concessão da Energisa Minas Gerais.

O Gráfico 2.11 apresenta os dados de precipitação acumulada para as cidades do Rio de Janeiro.

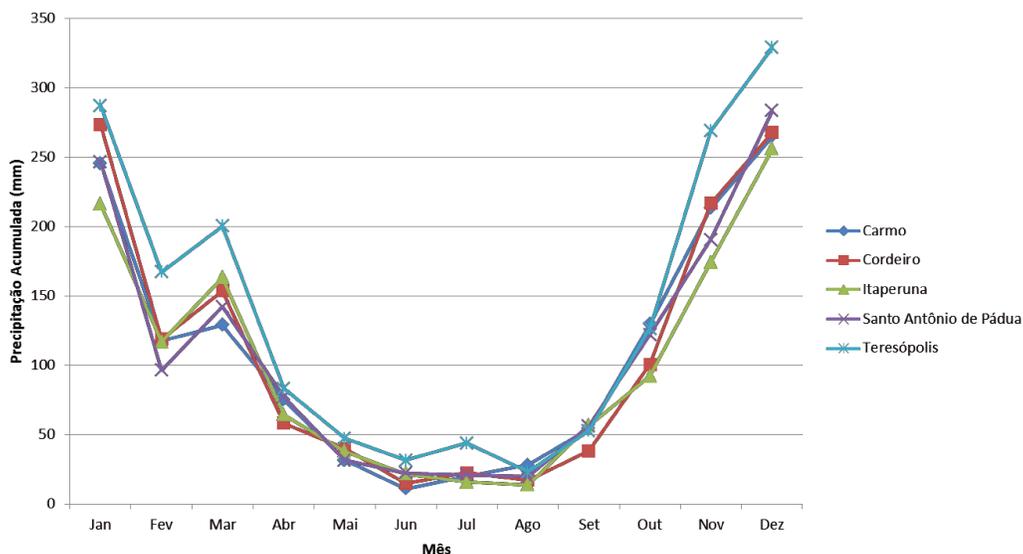


Gráfico 2.11 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.

Nota-se uma evidente semelhança entre os perfis de precipitações acumuladas das cidades estudadas. É importante ressaltar que há uma clara semelhança com os perfis de precipitação acumulada das cidades de Minas Gerais, o que, como mencionado anteriormente, é um reflexo de se estar estudando uma mesma região climatológica (Zona da Mata Mineira).

O período chuvoso ocorre entre os meses de setembro e abril, enquanto que o período seco ocorre entre maio e agosto. A cidade com maior precipitação acumulada é Teresópolis.

2.3.12 Rio de Janeiro – Temperaturas Máxima e Mínima

Os dados relativos a temperatura das cidades do Rio de Janeiro são mostrados nos gráficos a seguir. O Gráfico 2.12 apresenta os máximos da temperatura máxima para as cidades que compõem o estudo. As mínimas da temperatura mínima podem ser vistas no Gráfico 2.13.

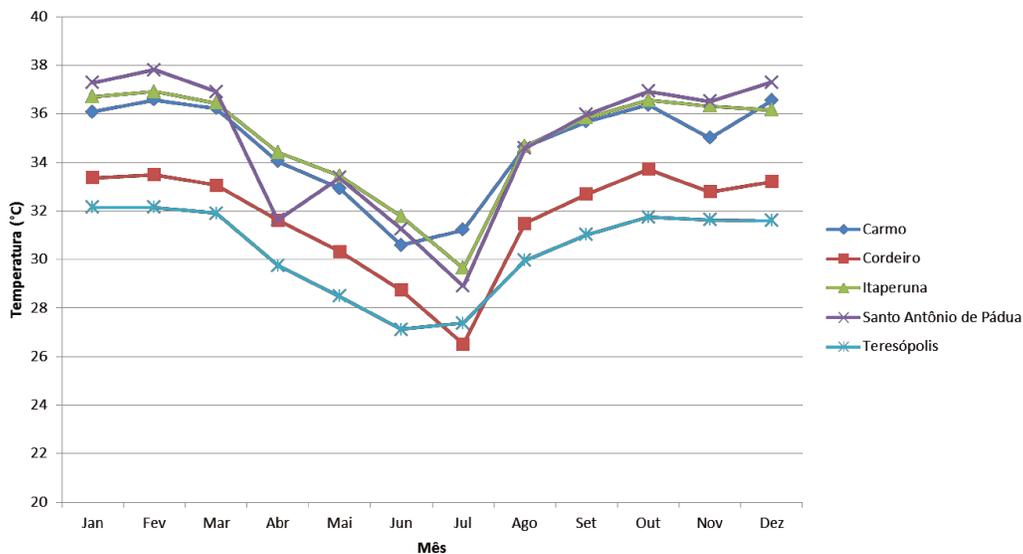


Gráfico 2.12 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.

Três cidades possuem, de forma semelhante, as maiores temperaturas máximas a partir da observação do Gráfico . Carmo, Itaperuna e Santo Antônio de Pádua têm temperaturas que variam entre 30°C e 38°C.

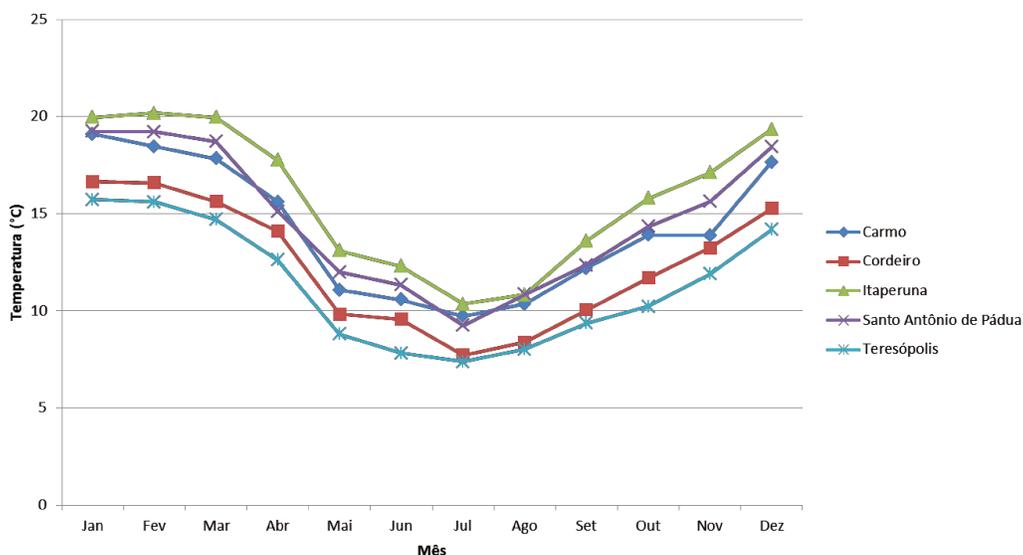


Gráfico 2.13 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.

No que tange a temperatura mínima, a cidade de Teresópolis possui o menor perfil de temperatura, com variações entre 7°C e 15°C, sendo que a menores temperaturas ocorrem nos meses de maio a agosto.

2.3.13 Rio de Janeiro – Umidade Relativa

O Gráfico 2.14 apresenta os valores médios de umidade para as cidades do Rio de Janeiro. Deve-se observar que somente três das cinco cidades estudadas inicialmente são mostradas no gráfico 2.14. Isso se deve ao fato da não disponibilidade dos dados das demais cidades componentes do estudo.

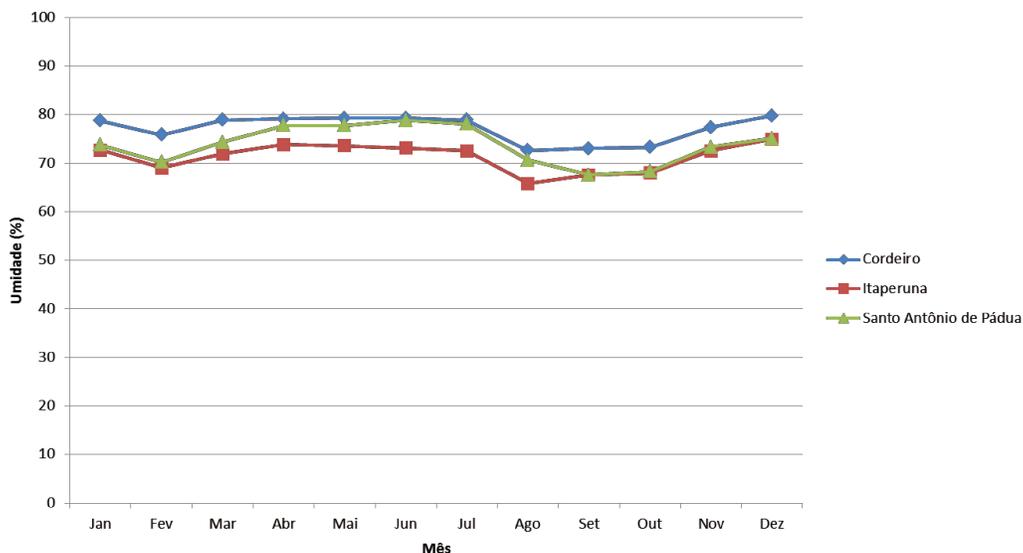


Gráfico 2.14 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.

Pode-se perceber que os valores médios de umidade não se alteram significativamente durante o ano, mantendo-se por volta de 75% de umidade relativa. A cidade de Cordeiro apresentou a maior média de umidade relativa registrada.

2.3.14 Rio de Janeiro – Radiação Ultravioleta

Os dados de radiação ultravioleta para as cidades de Cordeiro e Itaperuna são apresentados no Gráfico 2.15. Assim como no caso anterior da variável umidade para as cidades do Rio de Janeiro, os dados de algumas das cidades estudadas não estavam disponíveis na base de dados consultada.

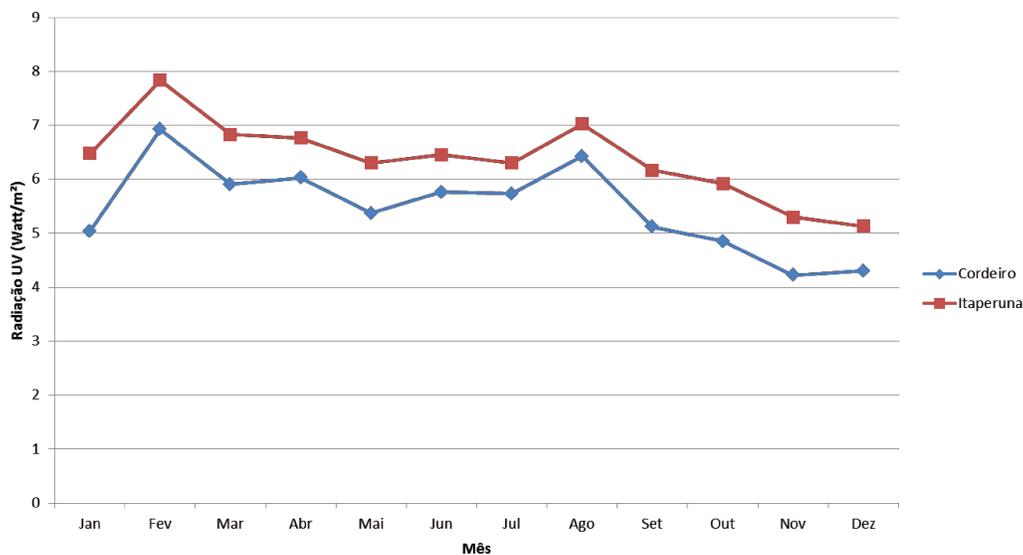


Gráfico 2.15 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro.

Itaperuna possui um maior índice de radiação ultravioleta, sendo os meses de fevereiro e agosto os mais críticos.

2.3.15 Rio de Janeiro – Descargas Atmosféricas

Um recorte de um mapa de densidade de descargas atmosféricas sobre a região que contém as cidades estudadas é apresentado na Figura 2.5.

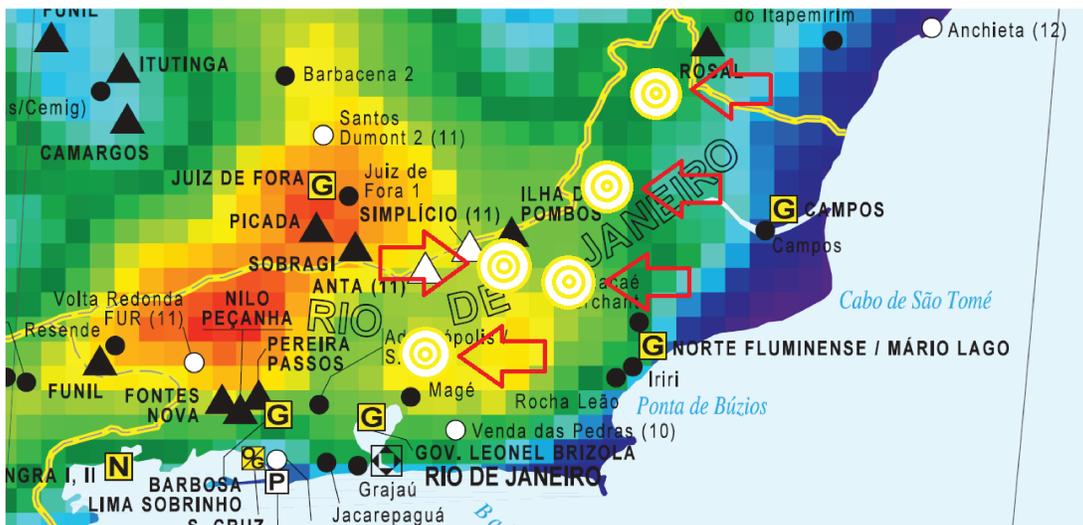


Figura 2.5 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado do Rio de Janeiro. (Fonte: ONS, 2011)

A partir deste mapa podemos extrair as seguintes informações sobre densidade de descargas atmosféricas, como segue: Carmo, 9 a 11 descargas/km²/ano; Cordeiro, 9 a 11 descargas/km²/ano; Itaperuna, 5 a 7 descargas/km²/ano; Santo Antônio de Pádua, 7 a 9 descargas/km²/ano; e Teresópolis, 11 a 13 descargas/km²/ano.

2.3.16 Sergipe – Precipitação Acumulada

As cidades que compõem o levantamento de informações relativas ao clima na área de concessão da Energisa Sergipe foram Aracaju, Itabaianinha e Propriá. Estas cidades foram escolhidas por possuírem estações meteorológicas automáticas.

O Gráfico 2.16 apresenta os dados de precipitação acumulada para as cidades estudadas.

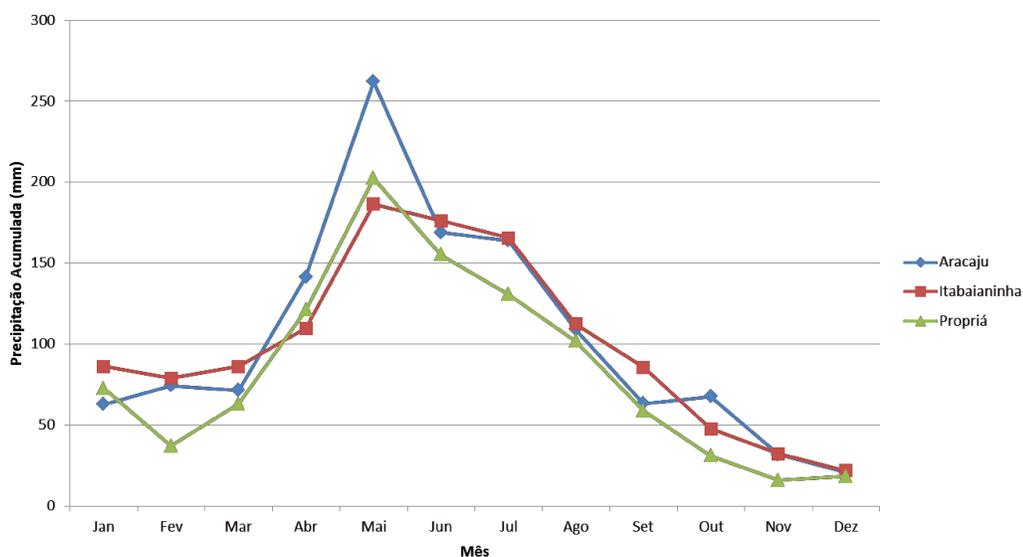


Gráfico 2.16 - Precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.

Como pode ser observado no gráfico 2.16, a cidade de Aracaju possui maior precipitação, com pico de mais de 250 mm de chuva no mês de maio. O período chuvoso da região está delimitado entre os meses de abril a agosto.

2.3.17 Sergipe – Temperaturas Máxima e Mínima

Os máximos das temperaturas máximas para as cidades de Sergipe são apresentados no Gráfico 2.17. De forma equivalente, os mínimos das temperaturas mínimas são apresentados no Gráfico 2.18.

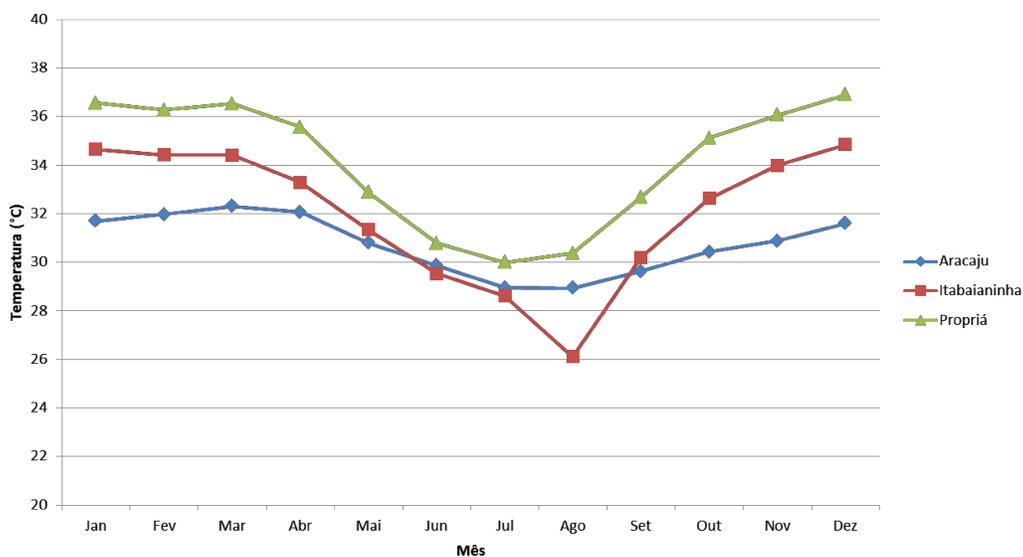


Gráfico 2.17 - Temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.

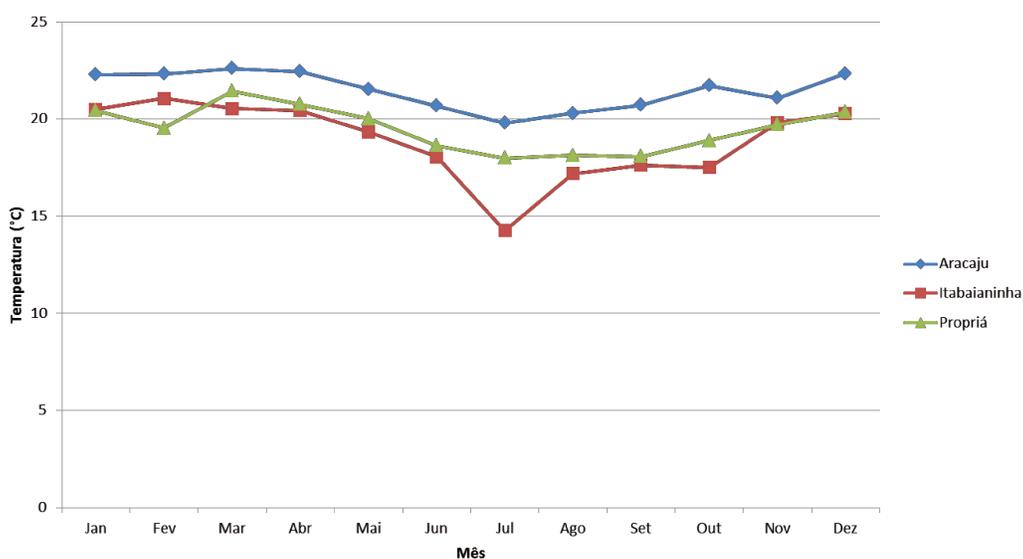


Gráfico 2.18 - Temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas no estado de Sergipe.

Dentre as cidades de Sergipe, a cidade com maior perfil de temperatura máxima é Propriá, com temperaturas que oscilam entre 30°C e 36°C. O menor perfil de temperatura mínima é apresentado pela cidade de Itabaianinha, com temperatura média anual de 17°C.

2.3.18 Sergipe – Umidade Relativa

O Gráfico mostra as médias de umidade relativa para as cidades estudadas no estado de Sergipe.

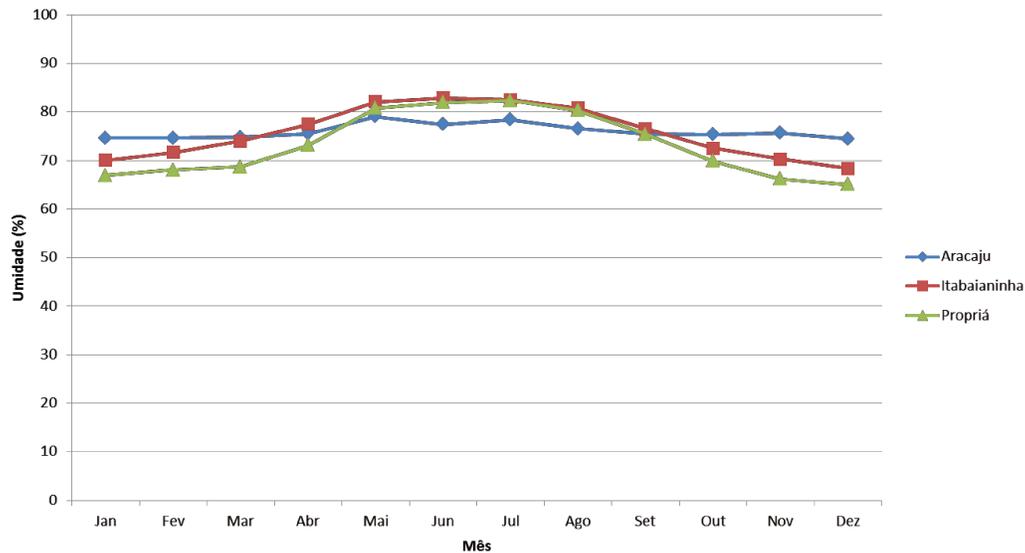


Gráfico 2.19 - Umidade relativa média para as cidades estudadas no estado de Sergipe.

Todas as cidades observadas apresentaram perfis de umidade semelhantes, com valores médios entre 66% e 82% de umidade relativa, sendo Itabaianinha a cidade com maior umidade relativa.

2.3.19 Sergipe – Radiação Ultravioleta

A média da radiação ultravioleta para as cidades sergipanas é apresentada no Gráfico 2.20.

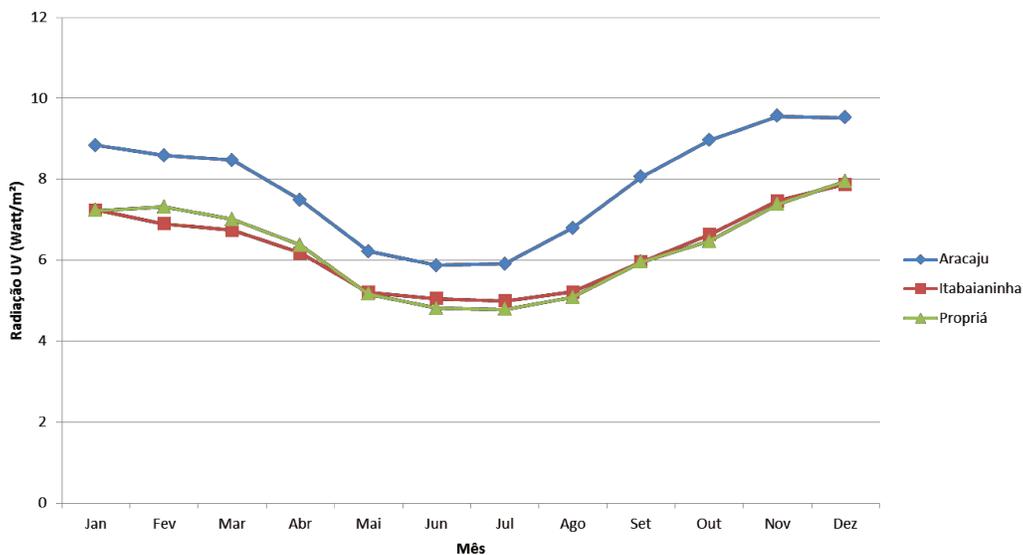


Gráfico 2.20 - Radiação ultravioleta média para as cidades estudadas no estado de Sergipe.

Dentre as demais cidades, a cidade de Aracaju sofre maior incidência de raios ultravioleta, registrando picos de 10 Watt/m².

2.3.20 Sergipe – Descargas Atmosféricas

A Figura 2.6 mostra o recorte de um mapa de densidade de descargas atmosféricas sobre o estado de Sergipe. As cidades foco do levantamento estão representadas por marcadores circulares amarelos.

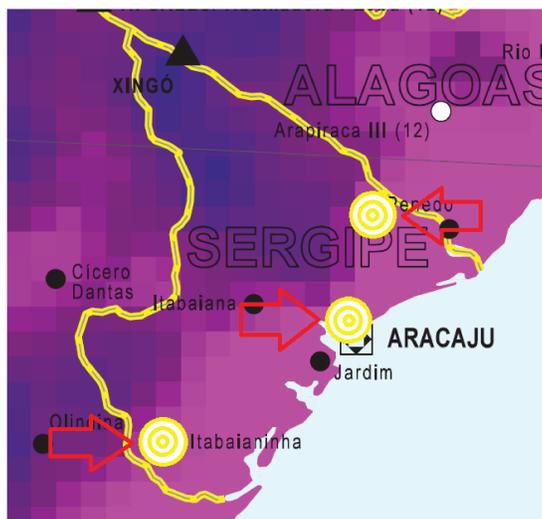


Figura 2.6 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas (recorte) para as cidades estudadas no estado de Sergipe. (Fonte: ONS, 2011)

Para todas as cidades estudadas, a densidade de descargas atmosféricas varia entre 0,5 a 1 descarga/km²/ano.

2.4 Comparação dos resultados

Um dos produtos esperados do levantamento das condições climáticas das áreas sob concessão do grupo Energisa é a definição de critérios para execução de experimento com para-raios, visando ter as condições ambientais por região, as mais reais possíveis.

Após a avaliação das variáveis observadas para cada estado, chegou-se a conclusão de que os resultados mais críticos dentre as diversas regiões estudadas representaria uma condição mais extrema para o experimento, o que o tornaria mais prático e conservativo, aplicando nos para-raios uma condição mais rigorosa do que a realidade do campo.

Deste modo, uma comparação dos casos mais críticos em cada região é desejável, a fim de proporcionar um subsídio melhor em termos de definição dos critérios do experimento.

Nesta seção somente as cidades que possuem os perfis mais críticos para cada variável são comparadas (maior precipitação acumulada média, maior temperatura máxima, menor temperatura mínima, maior umidade relativa, maior índice de radiação ultravioleta e maior densidade de descargas atmosféricas).

2.4.1 Comparação dos resultados – Precipitação Acumulada

O Gráfico 2.21 apresenta a comparação dos dados de média de precipitação acumulada para as cidades que tiveram os perfis mais críticos nessa variável, no caso, a maior média de precipitação acumulada.

As cidades comparadas foram: Coronel Pacheco (MG), João Pessoa (PB), Teresópolis (RJ) e Aracaju (SE).

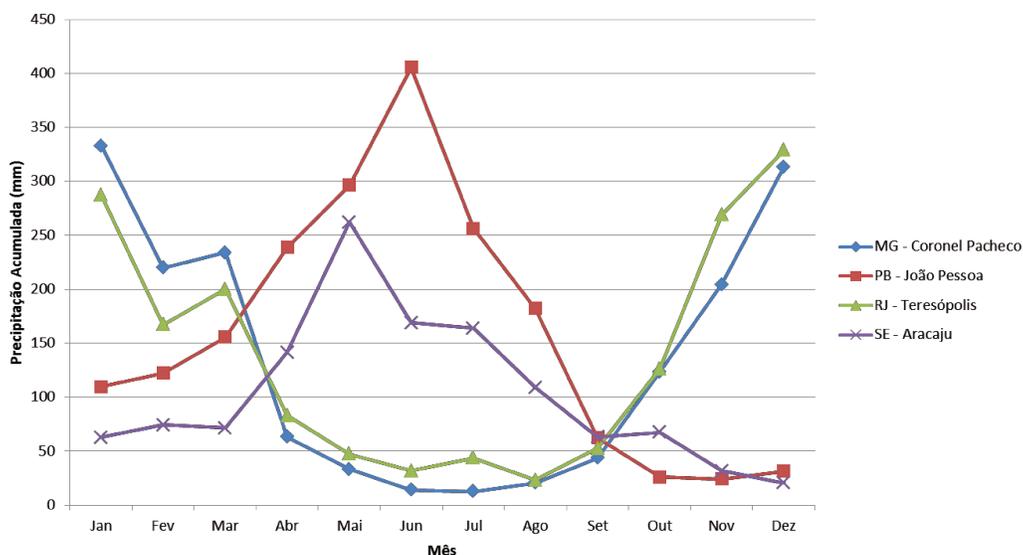


Gráfico 2.21 - Comparação dos dados de precipitação acumulada (média) para as cidades estudadas.

Com base na observação do gráfico 2.21, pode-se inferir que o perfil mais crítico das cidades observadas é de João Pessoa (PB), com pico de 400 mm de chuva no mês de junho.

2.4.2 Comparação dos resultados – Temperaturas Máxima e Mínima

Os critérios de seleção das cidades que continham perfis críticos de interesse foi a maior das máximas de temperatura máxima, para o caso da variável temperatura máxima e a menor das mínimas de temperatura mínima, para o caso da variável temperatura mínima.

A comparação dos dados de máximo da variável temperatura máxima para as cidades estudadas é apresentada no Gráfico 2.22. As cidades comparadas foram: Coronel Pacheco (MG), Patos (PB), Santo Antônio de Pádua (RJ) e Propriá (SE).

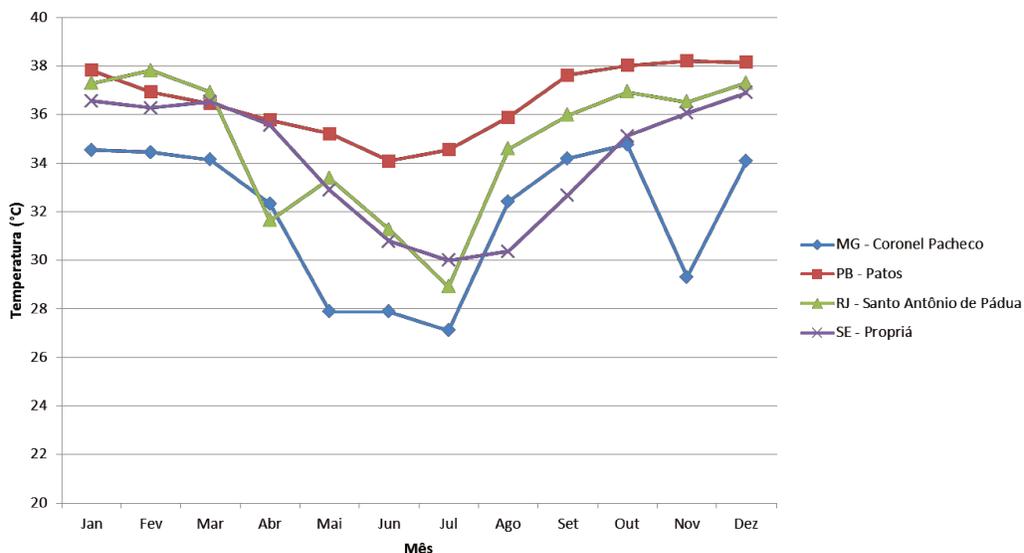


Gráfico 2.22 - Comparação dos dados de temperatura máxima (máximo) para as cidades estudadas.

A cidade paraibana de Patos possui, dentre os perfis mais críticos de cada estado, o maior perfil de temperatura máxima, com temperaturas que oscilam entre 34°C e 38°C.

A comparação dos dados de mínimo da variável temperatura mínima para as cidades estudadas é apresentada no Gráfico 2.23. As cidades comparadas foram: Caparaó (MG), São Gonçalo (PB), Teresópolis (RJ) e Itabaianinha (SE).

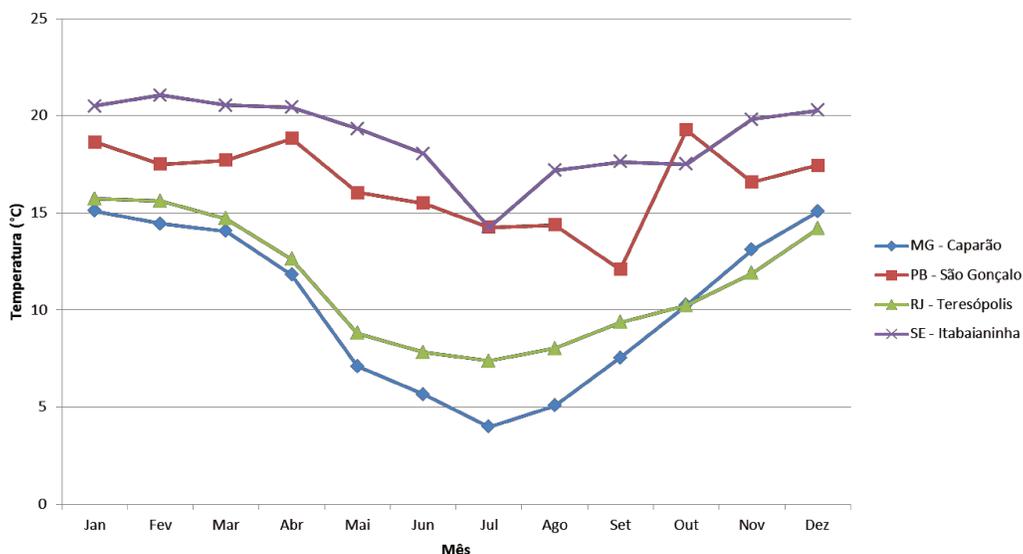


Gráfico 2.23 - Comparação dos dados de temperatura mínima (mínimo) para as cidades estudadas.

A menor das temperaturas mínimas é observada na cidade de Caparaó, estado de Minas Gerais, com valor de temperatura mínima de 4°C.

2.4.3 Comparação dos resultados – Umidade Relativa

Os dados relativos à variável umidade relativa média, comparados entre as cidade que possuem as maiores umidades relativas médias em cada estado, são apresentados no Gráfico 2.24. Cidades comparadas: Viçosa (MG), Areia (PB), Cordeiro (RJ) e Itabaianinha (SE).

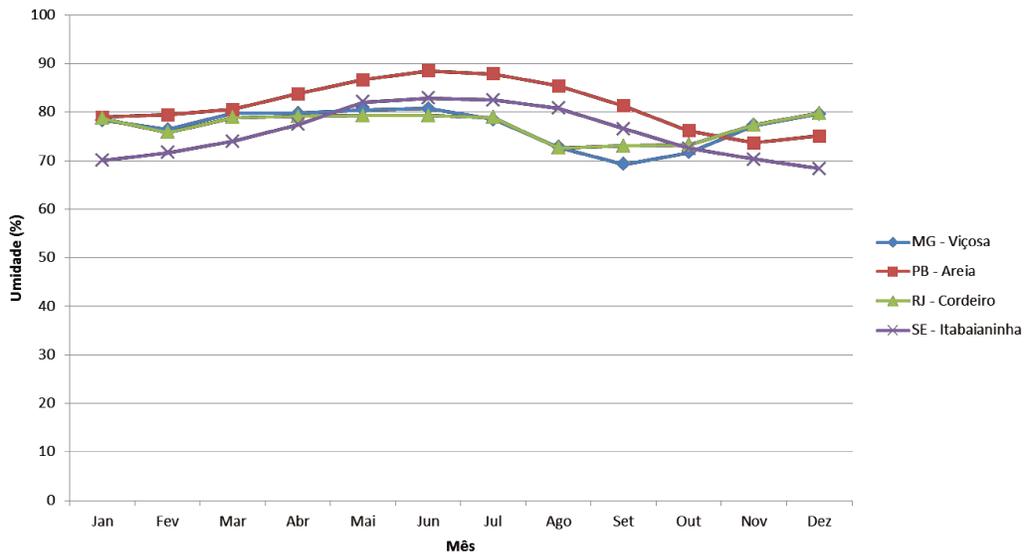


Gráfico 2.24 - Comparação dos dados de umidade relativa média para as cidades estudadas.

É importante ressaltar a semelhança tanto nos valores como na forma dos perfis de umidade relativa média para cidades de regiões afastadas geograficamente. A cidade de Areia (PB) possui o maior perfil de umidade relativa média.

2.4.4 Comparação dos resultados – Radiação Ultravioleta

O Gráfico apresenta os resultados da comparação dos perfis das médias de radiação ultravioleta para as cidades de Caratinga (MG), São Gonçalo (PB), Itaperuna (RJ) e Aracaju (SE).

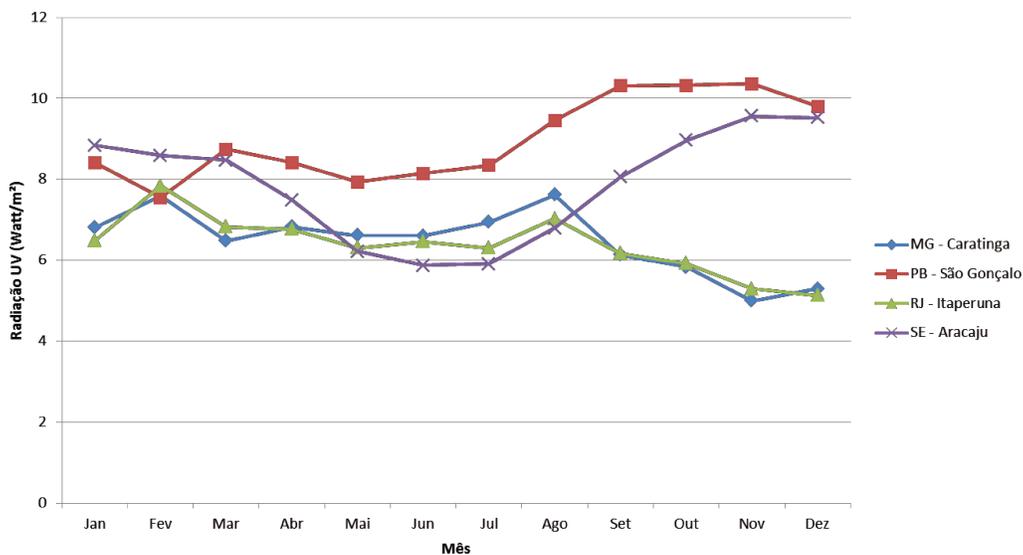


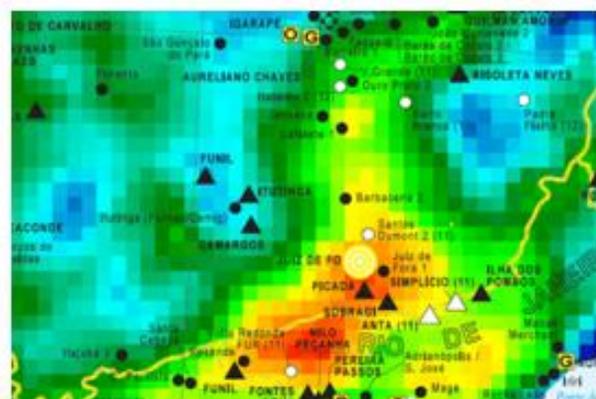
Gráfico 2.25 - Comparação dos dados de radiação ultravioleta média para as cidades estudadas.

Conforme pode ser observado no Gráfico 2.25, a cidade de São Gonçalo (PB) possui o maior índice de radiação ultravioleta, com valores que chegam a 11 Watt/m².

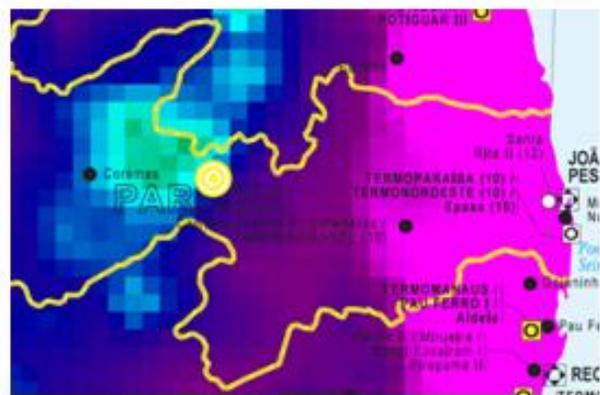
2.4.5 Comparação dos resultados – Descargas Atmosféricas

A Figura 2.7 apresenta os recortes dos mapas de densidade de descargas atmosféricas sobre as áreas estudadas. As cidades que tiveram índices de densidade de descargas atmosféricas mais críticos estão representadas na figura por marcadores amarelos.

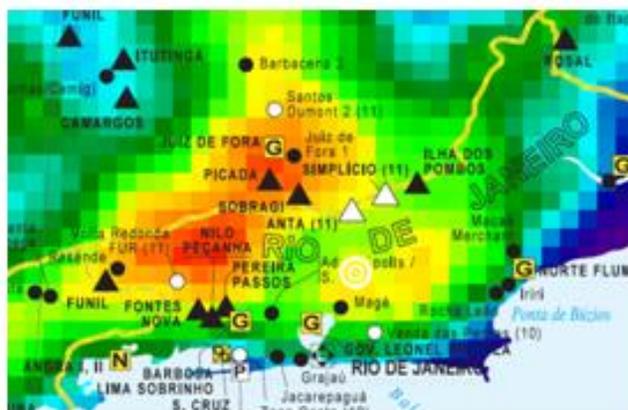
São comparadas nesta figura as cidades de Coronel Pacheco - MG (a), Patos – PB (b), Teresópolis – RJ (c) e Itabaianinha – SE (d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.7 – Comparação dos dados do mapa de densidade de descargas atmosféricas (recortes) para as cidades estudadas. (Fonte: ONS, 2011)

Comparando-se os recortes pode-se perceber que há um empate entre as regiões com maior densidade de descargas atmosféricas. As cidades de Coronel Pacheco – MG (a) e Teresópolis – RJ (c) apresentaram densidade de descargas atmosféricas entre 11 e 13 descargas/km²/ano.

2.5 Considerações Finais Sobre as Condições Ambientais

Foram estudadas um total de 19 cidades distribuídas em 4 estados, como segue: Barbacena (MG), Caparaó (MG), Caratinga (MG), Coronel Pacheco (MG), Viçosa (MG), Areia (PB), Campina Grande (PB), João Pessoa (PB), Monteiro (PB), Patos (PB), São Gonçalo (PB), Carmo (RJ), Cordeiro (RJ), Itaperuna (RJ), Santo Antônio de Pádua (RJ), Teresópolis (RJ), Aracaju (SE), Itabaianinha (SE) e Propriá (SE).

Para cada cidade, foram analisadas 5 variáveis, sendo: precipitação acumulada, temperatura (subdividida em máxima e mínima), umidade relativa, radiação ultravioleta e densidade de descargas atmosféricas.

Os resultados obtidos foram apresentados de forma a classificar os casos mais extremos de cada estado.

No estado de Minas Gerais, Coronel Pacheco apresentou a maior precipitação acumulada, a maior temperatura máxima e a maior densidade de descargas atmosféricas. Caparaó obteve a menor temperatura mínima, Viçosa a maior umidade relativa e Caratinga o maior índice de radiação ultravioleta.

No estado da Paraíba, João Pessoa teve maior precipitação acumulada, Patos a maior temperatura máxima e a maior densidade de descargas atmosféricas, São Gonçalo a menor temperatura mínima e o maior índice de radiação ultravioleta e Areia apresentou a maior umidade relativa.

No estado do Rio de Janeiro, a cidade de Teresópolis apresentou a maior precipitação acumulada, a menor temperatura mínima e a maior densidade de descargas atmosféricas, Santo Antônio de Pádua teve a maior temperatura máxima, Cordeiro a maior umidade relativa e Itaperuna o maior índice de radiação ultravioleta.

No estado do Sergipe, Aracaju obteve a maior precipitação acumulada e o maior índice de radiação ultravioleta, Propriá a maior temperatura máxima e Itabaianinha a menor temperatura mínima e a maior umidade relativa. Todas as cidades possuem a mesma densidade de descargas atmosféricas.

Após essa classificação, os casos mais críticos foram comparados entre os estados, de forma a encontrar dentre todas as cidades estudadas as cidades que apresentassem os valores mais críticos para cada variável observada.

Levando-se em consideração todas as cidades estudadas, a cidade de João Pessoa (PB) apresentou a maior precipitação acumulada, Patos (PB) a maior temperatura máxima, Caparaó (MG) a menor temperatura mínima, Areia (PB) a maior umidade relativa e São Gonçalo (PB) o maior índice de radiação ultravioleta, Coronel Pacheco (MG) e Teresópolis (RJ) apresentaram maior densidade de descargas atmosféricas.

As informações resultantes deste levantamento serviram de base para a definição dos critérios de representação da localidade no experimento de ensaios de vida útil na utilização de para-raios em campo e possível previsão de falhas associadas às intempéries climáticas do local de instalação do equipamento.

Capítulo 3 - Hidrofobicidade em Invólucros de Para-Raios Poliméricos de Distribuição

A hidrofobicidade é uma das mais importantes propriedades dos invólucros de para-raios e de isoladores poliméricos. Esta é uma das propriedades que auxilia na longevidade destes equipamentos quando instalados em regiões de poluição intensa. Muitos trabalhos e estudos técnicos e científicos sobre o comportamento das propriedades destes materiais têm sido conduzidos, principalmente em estudo de isoladores e compostos poliméricos, entretanto, as propriedades dos materiais que interessam aos isoladores, também são importantes para os para-raios fabricados com estes mesmos materiais.

Os isoladores poliméricos, particularmente aqueles fabricados com compostos de borracha de silicone, são reconhecidamente os isoladores preferidos para ambientes com elevado índice de poluição, principalmente devido à sua alta hidrofobicidade e a sua habilidade de transferi-la para camadas poluentes depositados sobre si. Solicitações operacionais, tais como a presença de arcos elétricos na superfície do polímero, exposição aos raios UV e ataques químicos, causam redução ou perda total da hidrofobicidade, aumentando a formação de bandas secas e acelerando a degradação do revestimento de um isolador polimérico. [17]

Quando uma superfície hidrofílica é molhada, a água não é repelida por ela, sendo formado um filme que a recobre. No caso de um dispositivo elétrico, deseja-se uma superfície hidrofóbica, para que a água não seja um caminho de baixa resistência elétrica que provoque a ocorrência de descargas disruptivas. Uma das formas de se avaliar a hidrofobicidade é o uso da técnica de medição de ângulo de contato, que consiste em produzir uma gota de água na superfície da amostra e medir o ângulo formado entre a gota e a superfície usando luz, lente e um goniômetro.

Os materiais cujo ângulo de contato é inferior a 90° são considerados hidrofílicos e os materiais com ângulo superior a 90° são considerados hidrofóbicos. Um dos grandes desafios atuais é fazer isoladores poliméricos com materiais super-hidrofóbicos, com ângulos superiores a 150° , pois, assim, a água escorreria ainda mais facilmente limpando a superfície do isolador, tornando-os peças auto-limpantes. [17]

O grande problema da perda de hidrofobicidade em um isolador elétrico, é que a distribuição do campo elétrico é alterada. A poluição acumula na superfície, sob ação da água, resulta em distorção na distribuição de campo elétrico. No caso de isoladores poliméricos em subestações, altos campos elétricos nas gotas de água podem provocar o aparecimento de arcos elétricos na superfície causando degradação superficial pelo mecanismo de Efeito Joule. Isso pode acarretar a perda de hidrofobicidade do material. Tais arcos podem causar o aparecimento de bandas secas, o que proporciona altos campos elétricos e, conseqüentemente, aumento da intensidade dos arcos. [17]

Os altos campos elétricos nas bandas secas provocam descargas corona que produzem ozônio e óxidos de nitrogênio. Estes, combinados com a água formam ácido nítrico que junto com o ozônio atacam a superfície do isolador. Este efeito, provocado por corona e arcos de superfície, leva à ocorrência de erosão (perda do material polimérico) e “tracking”, também conhecido como trilhamento elétrico, (perda de material combinado com a formação de caminho condutivo). [18]

Para um isolador de uso externo, o silicone é uma boa alternativa, pois, mesmo em casos de alto nível de contaminação, esses isoladores permanecem hidrofóbicos na superfície. Os silicones são capazes de tornar hidrofóbicos os depósitos de contaminantes vindos do meio ambiente tais como, poeira, sal marinho, etc. Isto é devido à presença de siloxanos residuais do processo de fabricação da base de polidimetilsiloxano (principal matéria-prima da fabricação os compostos de borracha de silicone), que migram para a superfície do elastômero e revestindo os depósitos com uma rede hidrofóbica. Por outro lado, as características hidrofóbicas presentes em materiais poliméricos como o silicone, se alteram parcialmente ou totalmente com o decorrer do tempo. Essas propriedades podem variar até mesmo com a temperatura ambiente e com as estações do ano. [17]

3.1- Materiais e Métodos

Neste tópico são apresentados os materiais e as metodologias utilizadas para realizar todos os ensaios citados. São apresentadas, na tabela 3.1, as amostras ensaiadas e os ensaios realizados em cada amostra.

Tabela 3.1: Amostras e ensaios realizados

Amostra	Fabricante	Hidrofobicidade Limpa (Hl)	Hidrofobicidade Perdida (Hp)	Hidrofobicidade Recuperada (Hp-r)	Hidrofobicidade Transferida (Ht)	Hidrofobicidade Recuperada (Ht-r)
1	A	X	X	X		
2	A	X	X	X		
3	A	X	X	X		
4	A	X			X	X
5	A	X			X	X
6	A	X			X	X
29	B	X	X	X		
30	B	X	X	X		
31	B	X	X	X		
32	B	X			X	X
33	B	X			X	X
34	B	X			X	X
8	C	X	X	X		
9	C	X	X	X		
10	C	X	X	X		
11	C	X			X	X
12	C	X			X	X
13	C	X			X	X
22	D	X	X	X		
23	D	X	X	X		
24	D	X	X	X		
25	D	X			X	X
26	D	X			X	X
27	D	X			X	X
15	E	X	X	X		
16	E	X	X	X		
17	E	X	X	X		
18	E	X			X	X
19	E	X			X	X
20	E	X			X	X

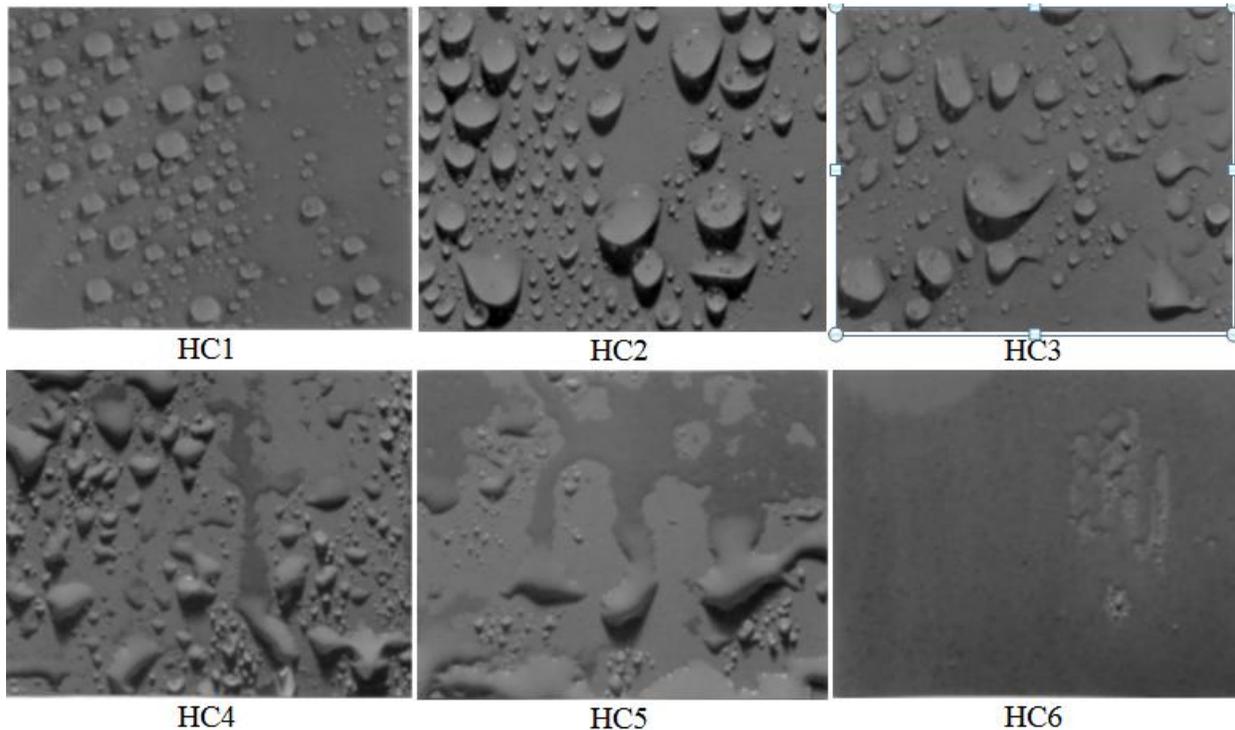
As medidas de hidrofobicidades foram realizadas seguindo uma metodologia inspirada no Guia de Classificação de Hidrofobicidade do STRI Guide [19]. O ensaio completo, considerando as etapas de imersão em água deionizada e revestimento com camada sólida poluente artificial, foi realizado baseado na norma IEC/TS 61245 [20] e na norma chinesa DL/T 810-2002 [21] com pequenas adaptações tendo em vista o objetivo deste trabalho. Este método visa obter a hidrofobicidade dos invólucros dos para-raios em quatro situações distintas, hidrofobicidade em superfície limpa (Hl), hidrofobicidade perdida (Hp), hidrofobicidade recuperada (Hr), hidrofobicidade transferida (Ht) e uma quinta espécie de hidrofobicidade não estudada até o momento, hidrofobicidade final (Hf).

3.2- Hidrofobicidade

A hidrofobicidade foi avaliada apenas pelo método de classificação segundo o Guia STRI, as medidas de ângulo de contato não foram realizadas para que não fossem destruídos ou retirados pedaços dos invólucros dos para-raios. A hidrofobicidade foi avaliada diretamente sobre os para-raios e não em corpos de prova removidos.

Para avaliar a classificação de hidrofobicidade uma área da superfície do para-raios é borrifada com água deionizada e a classificação é dividida em seis níveis de hidrofobicidade que vão de HC1 (mais hidrofóbico possível) até HC6 (mais hidrofílico possível). Seis imagens servem para compor a escala dos níveis de hidrofobicidade a serem obtidos por comparação visual, estas fotos estão disponíveis no Guia de Avaliação de Hidrofobicidade do STRI e são demonstradas na figura 3.1.

Hidrofóbico



Hidrofílico

Figura 3.1: Classes de hidrofobicidade segundo o Guia STRI

Para análise da hidrofobicidade da superfície limpa (Hl), foram usados seis para-raios de cada um dos cinco fabricantes em um total de trinta para-raios. Para avaliar hidrofobicidade perdida (Hp) por imersão em água, foram usados três para-raios de cada fabricante, totalizando quinze para-raios dos trinta para-raios iniciais. Estes mesmos quinze para-raios foram ensaiados para avaliar a hidrofobicidade recuperada (Hr).

Para avaliar a hidrofobicidade transferida (Ht) foram usados três para-raios de cada um dos cinco fabricantes, ou seja, os quinze para-raios restantes. Após a avaliação da hidrofobicidade transferida, os mesmos quinze para-raios foram lavados, limpos e secos e então reensaiados para se observar a hidrofobicidade final.

Todos os para-raios foram fotografados durante as medições e suas hidrofobicidades avaliadas. Os resultados e as imagens estão apresentados no tópico de resultados e discussões deste trabalho. Para realizar as medições da hidrofobicidade na superfície limpa, todos os para-raios foram limpos com etanol e lavados com água deionizada. Depois de seco foram ensaiados em laboratório climatizado em condições ambientais normais.

Para realizar as medições da hidrofobicidade perdida, todos os para-raios foram imersos em um tanque com água deionizada com condutividade inferior a $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ por um período de 96 horas. Depois foram secos com papel de filtro e ensaiados em laboratório climatizado em condições ambientais normais.

Para realizar a medição da hidrofobicidade transferida, uma suspensão de diatomita com cloreto de sódio (NaCl) foi preparada com densidade de sal (ESDD) de $0,1 \text{ g}/\text{cm}^2$ (NaCl) e densidade de cinzas de $0,5 \text{ g}/\text{cm}^2$ (NSDD). Na primeira tentativa, esta suspensão foi aplicada nos para-raios por imersão, porém esta técnica sugerida pela norma não funcionou, os para-raios são peças muito grandes, de materiais bastante hidrofóbicos e desenhados para facilitar o escoamento e a autolavagem, diferentemente de corpos de provas, preparados para este tipo de ensaio.

Esta dificuldade na aplicação da poluição exigiu uma adaptação da metodologia, para se conseguir de forma efetiva uma deposição homogênea e regular. Os para-raios foram aquecidos em estufas a 130°C por um período de 20 a 30 minutos e então submetidos a jateamento da suspensão contaminante com auxílio de bico aspersor pressurizado. Então foram mantidos em repouso por um período de 96 horas, finalmente a hidrofobicidade na camada de poluição foi medida em um laboratório climatizado em condições normais.

Para realizar a medição da hidrofobicidade recuperada, os quinze para-raios usados no ensaio de hidrofobicidade perdida foram mantidos no laboratório climatizado em condições normais por 48 horas após o ensaio de hidrofobicidade perdida, e então reensaiados. Os quinze para-raios usados na medição de hidrofobicidade transferida foram lavados após este ensaio, então foram limpos com etanol e enxaguados com água deionizada, depois foram mantidos por 48 horas em um laboratório climatizado em condições normais e então reensaiados. Esta hidrofobicidade foi denominada neste trabalho como hidrofobicidade final.

Após as superfícies estarem prontas para o ensaio de hidrofobicidade foi borrifado água deionizada na velocidade de uma borrifada por segundo, por um período de 25 segundos, a uma distância de 25 cm, perpendicular à região a ser avaliada. Eflúvios de água devem ser observados na área avaliada. A avaliação deve ser feita 30 segundos após o borrifamento ser encerrado e preferencialmente, a amostra deve estar com uma inclinação de 20° a 30° . O pulverizador deve dispersar de 0,7 a 1,0 mL por borrifamento, o ângulo de dispersão deve ser de 50° a 70° .

Os corpos de prova são para-raios inteiros e não amostras retiradas, a hidrofobicidade nos para-raios foi avaliada na posição vertical na primeira saia de cada para-raios, levando em

consideração o ângulo de inclinação do próprio para-raios fabricado em relação ao seu próprio eixo.

3.2.1- Classificação de Hidrofobicidade da Superfície Limpa (HI)

Na tabela 3.2 é apresentada a classificação de hidrofobicidade da superfície limpa de seis para-raios de cada um dos cinco fabricantes estudados totalizando 30 amostras ensaiadas.

Tabela 3.2 - Classificação de hidrofobicidade das superfícies limpas segundo o guia STRI

Fabricante	Amostra	Classificação da Hidrofobicidade
A	1	HC 1
	2	HC 1
	3	HC 1
	4	HC 1
	5	HC 1
	6	HC 1
B	29	HC 1
	30	HC 2
	31	HC 2
	32	HC 1
	33	HC 4
	34	HC 1
C	8	HC 1
	9	HC 1
	10	HC 1
	11	HC 2
	12	HC 1
	13	HC 1
D	22	HC 1
	23	HC 1
	24	HC 1
	25	HC 1
	26	HC 1
	27	HC 1
E	15	HC 1
	16	HC 1
	17	HC 1
	18	HC 1
	19	HC 1
	20	HC 1

Os valores apresentados na tabela 3.2 foram obtidos pelas observações feitas quando dos registros das fotos que são observadas das figuras de 3.2 a 3.6. Observando os resultados de hidrofobicidade apresentados, é fácil notar que todos os fabricantes estudados apresentaram valores de hidrofobicidade excelentes ou muito bons para o material de revestimento novo.

Quando novos, os fabricantes A, D e E apresentaram valores máximos de hidrofobicidade, classe HC 1 para todas as amostras analisadas. O fabricante C, obteve uma única amostra com classificação HC 2 (amostra 11), que é um valor bom e aceitável para hidrofobicidade.

O fabricante B chamou a atenção por três desvios, os dois primeiros sem grande importância, as amostras 30 e 31 apresentaram classificação de hidrofobicidade HC 2, valor bom e aceitável. Entretanto, o terceiro desvio, resultado de classificação HC 4 para a amostra 33, indica que o material já é considerado parcialmente hidrofílico e pouco hidrofóbico, ou seja, certas regiões da cobertura possui afinidade pela água, um resultado inaceitável para um revestimento sem uso.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies limpas dos para-raios do fabricante A e estão apresentadas na tabela 3.2. A classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.2.

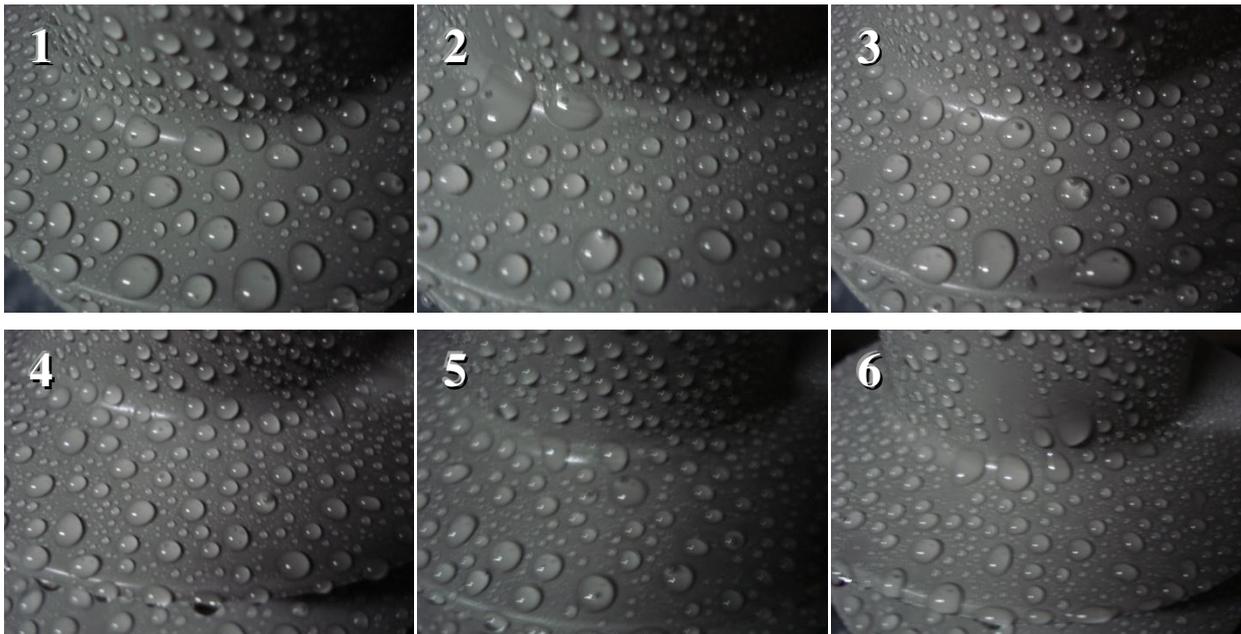


Figura 3.2 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 1 a 6 do fabricante A.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI para as superfícies limpas dos para-raios do fabricante B estão apresentadas na tabela 3.2. A classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.3.

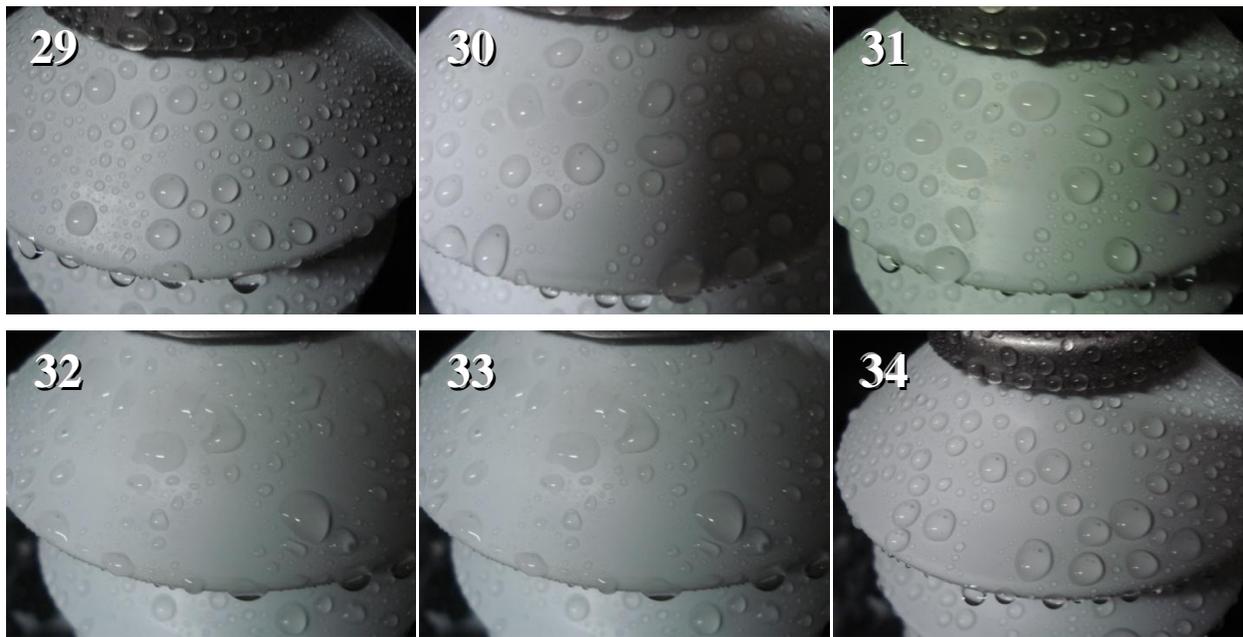


Figura 3.3 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 29 a 35 do fabricante B.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI para as superfícies limpas dos para-raios do fabricante C estão apresentadas na tabela 3.2. A classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.4.

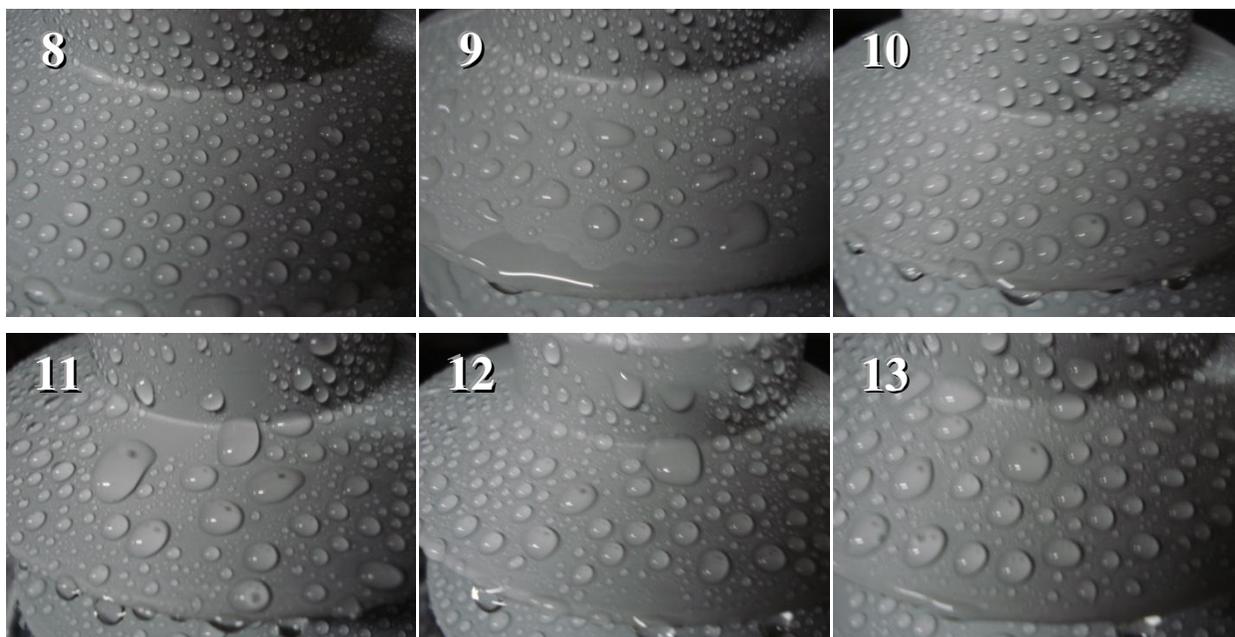


Figura 3.4 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 8 a 13 do fabricante C.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI para as superfícies limpas dos para-raios do fabricante D, estão apresentadas na tabela 3.2. A classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.5.

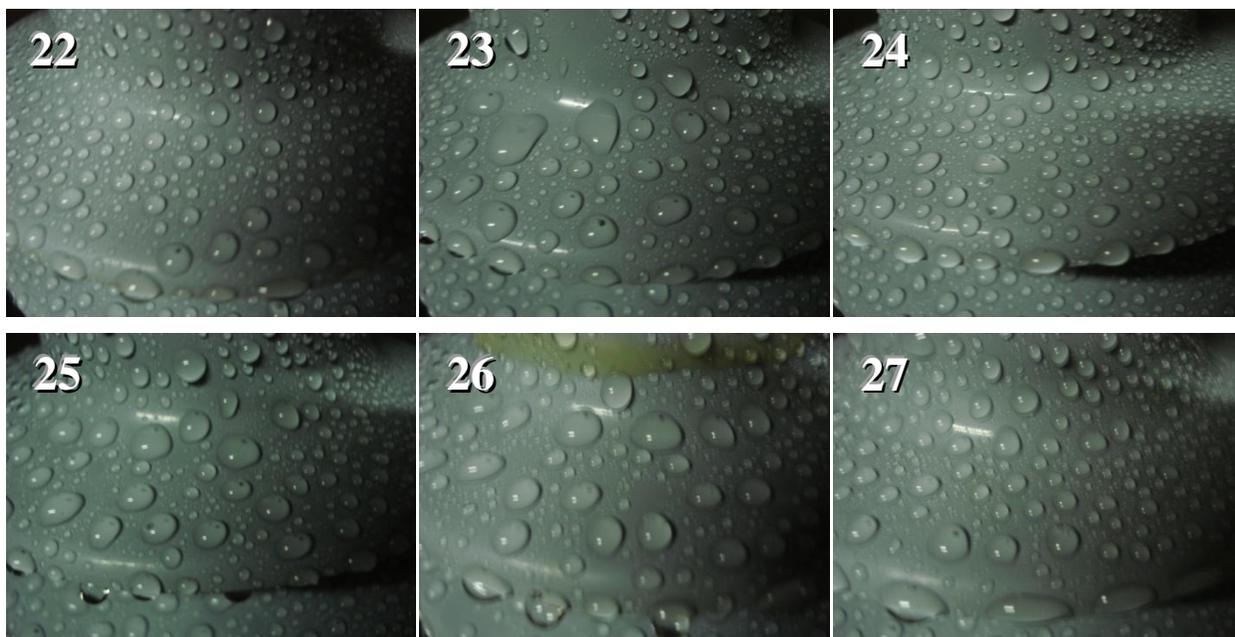


Figura 3.5 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 22 a 27 do fabricante D.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI para as superfícies limpas dos para-raios do fabricante E, estão apresentadas na tabela 3.2. A classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.6.

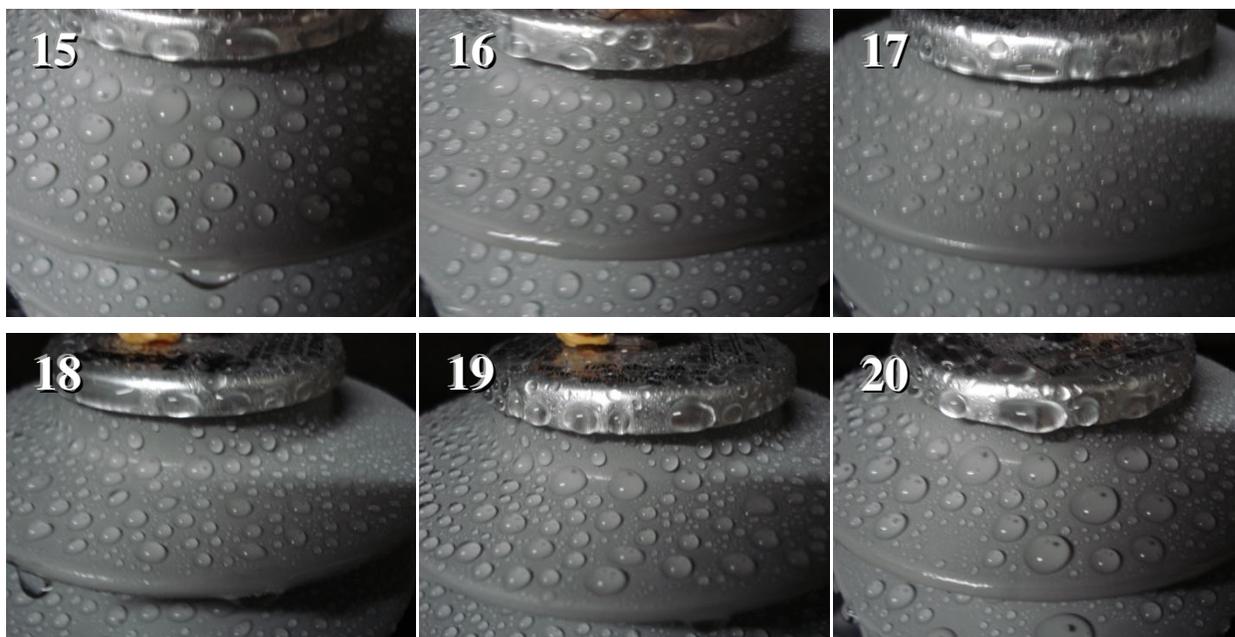


Figura 3.6 - Imagens da hidrofobicidade das superfícies limpas dos para-raios das amostras 15 a 20 do fabricante E.

3.2.2- Classificação de Hidrofobicidade Perdida da Superfície Imersa em Água (Hp)

Na tabela 3.3 são apresentadas as classificações de hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água por um período de 96 horas de três para-raios de cada um dos cinco fabricantes estudados, totalizando 15 amostras ensaiadas.

Tabela 3.3 - Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por um período de 96 horas.

Fabricante	Amostra	Classificação da Hidrofobicidade
A	1	HC 1
	2	HC 2
	3	HC 2
B	29	HC 3
	30	HC 3
	31	HC 2
C	8	HC 4
	9	HC 3
	10	HC 4
D	22	HC 3
	23	HC 3
	24	HC 2
E	15	HC 2
	16	HC 2
	17	HC 1

Os para-raios ficaram imersos em água deionizada por um período de 96 horas, a figura 3.7 ilustra esta etapa do procedimento.



Figura 3.7 - Para-raios imersos em água deionizada por período de 96 horas.

Para os para-raios do fabricante A, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspensão da água sobre as superfícies e as imagens são apresentadas na figura 3.8. A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e estão apresentadas na tabela 3.3.

Os resultados de perda de hidrofobicidade para os fabricantes A e E foram os melhores, as amostras ensaiadas destes dois fabricantes ficaram classificadas entre HC 1 e HC 2 (hidrofobicidade ótima ou muito boa).

Os fabricantes B e D foram classificados entre HC 2 e HC 3 (hidrofobicidade muito boa a regular). O fabricante C atingiu níveis inferiores, as amostras 10 e 8 atingiram classificação HC 4 (parcialmente hidrofílica e pouco hidrofóbica), quando aplicado a isolamento externo, este nível de hidrofobicidade é inaceitável.

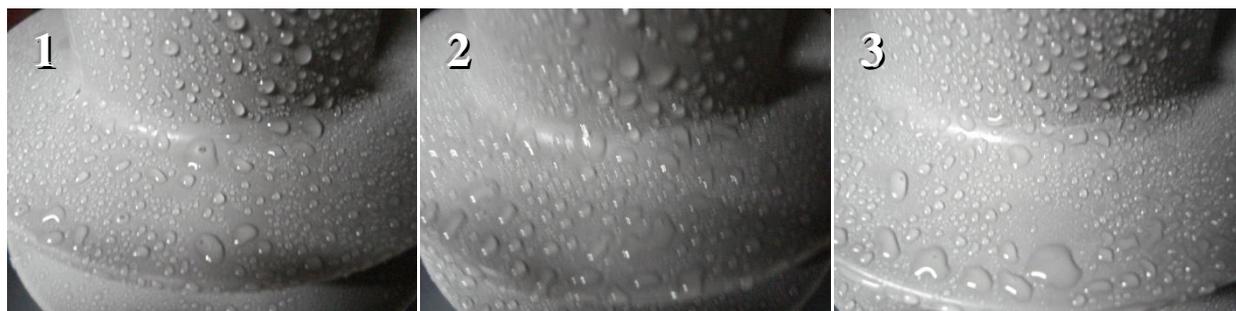


Figura 3.8 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 1 a 3 do fabricante A.

Para os para-raios do fabricante B, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspensão da água sobre as superfícies e as imagens são apresentadas na figura 3.9. A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e estão apresentadas na tabela 3.3.

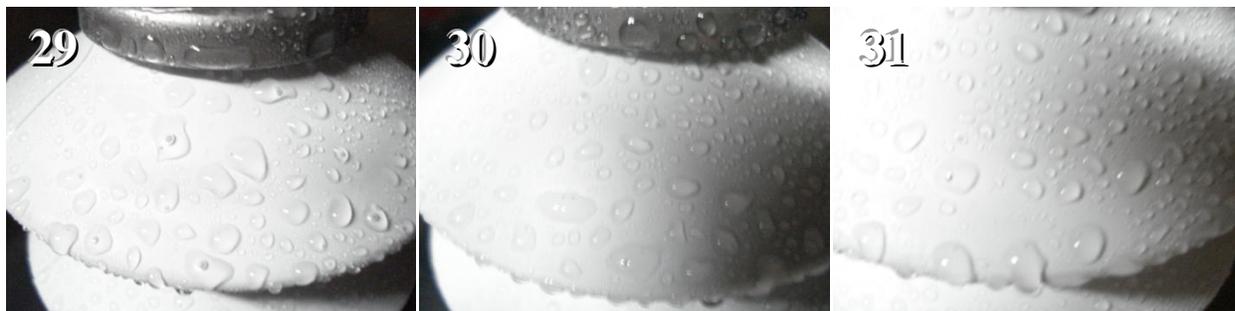


Figura 3.9 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 29 a 31 do fabricante B.

Para os para-raios do fabricante C, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspensão da água sobre as superfícies e as imagens são apresentadas na figura 10. A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e estão apresentadas na tabela 3.3.



Figura 3.10 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 8 a 10 do fabricante C.

Para os para-raios do fabricante D, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspensão da água sobre as superfícies e as imagens são apresentadas na figura 3.11. A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e estão apresentadas na tabela 3.3.



Figura 3.11 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 22 a 24 do fabricante D.

Para os para-raios do fabricante E, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies e as imagens são apresentadas na figura 3.12. A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e estão apresentadas na tabela 3.3.



Figura 3.12 - Imagens da hidrofobicidade perdida das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 15 a 17 do fabricante E.

3.2.3- Classificação de Hidrofobicidade Perdida da Superfície Imersa em Água (Hr-p)

Na tabela 3.4 são apresentadas as classificações de hidrofobicidade recuperada após 48 horas de repouso das superfícies, após perda de hidrofobicidade por imersão em água por um período de

96 horas de três para-raios de cada um dos cinco fabricantes estudados totalizando 15 amostras ensaiadas.

Tabela 3.4 - Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda da hidrofobicidade por imersão água deionizada por um período de 96 horas.

Fabricante	Amostra	Classificação da Hidrofobicidade
A	1	HC 1
	2	HC 2
	3	HC 2
B	29	HC 3
	30	HC 3
	31	HC 2
C	8	HC 4
	9	HC 3
	10	HC 4
D	22	HC 3
	23	HC 3
	24	HC 2
E	15	HC 2
	16	HC 1
	17	HC 1

A camada de depósito de poluição sólida sobre as superfícies dos para-raios é constituída de diatomita e cloreto de sódio, o aspecto dos para-raios após 96 horas de deposição pode ser observado na figura 3.13.



Figura 3.13 - Camada de deposição de poluição artificial nas superfícies dos para-raios.

Para o ensaio de recuperação de hidrofobicidade, os fabricantes A e E, também obtiveram os melhores resultados, foi observado uma discreta recuperação de uma das amostras do fabricante E, de qualquer maneira, ambos os fabricantes obtiveram classificação de hidrofobicidade entre os níveis HC 1 e HC 2.

Os fabricantes B e D, não apresentaram recuperação significativa, ficaram entre os níveis HC 2 e HC 3 que é um comportamento não muito bom, porém aceitável.

O fabricante C não demonstrou nenhum tipo de recuperação de hidrofobicidade, ou seja, além de perder muita hidrofobicidade em 96 horas de imersão, após 48 horas de descanso, nenhuma hidrofobicidade foi recuperada. Os níveis de hidrofobicidade após o período de recuperação permaneceram em HC 3 e HC 4.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e depois deixadas em repouso por 48 horas para recuperar a hidrofobicidade que se perdeu durante a imersão. A classificação destes para-raios está apresentada na tabela 3.4. Para os para-raios do fabricante A, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies e as imagens são apresentadas na figura 3.14.



Figura 3.14 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 1 a 3 do fabricante A.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e depois deixadas em repouso por 48 horas para recuperar a hidrofobicidade que se perdeu durante a imersão. A classificação destes para-raios está apresentada na tabela 3.4. Para os para-raios do fabricante B, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.15.



Figura 3.15 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 19 a 31 do fabricante B.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e depois deixadas em repouso por 48 horas para recuperar a hidrofobicidade que se perdeu durante a imersão. A classificação destes para-raios está

apresentada na tabela 3.4. Para os para-raios do fabricante C, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.16.



Figura 3.16 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 8 a 10 do fabricante C.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e depois deixadas em repouso por 48 horas para recuperar a hidrofobicidade que se perdeu durante a imersão. A classificação destes para-raios está apresentada na tabela 3.4. Para os para-raios do fabricante D, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.17.



Figura 3.17 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 22 a 24 do fabricante D.

A classificação de hidrofobicidade segundo o guia STRI foi realizada para as superfícies imersas em água deionizada por 96 horas e depois deixadas em repouso por 48 horas para recuperar a hidrofobicidade que se perdeu durante a imersão. A classificação destes para-raios é apresentada

na tabela 3.4. Para os para-raios do fabricante E, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies. As imagens são apresentadas na figura 3.18.



Figura 3.18 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após perda das superfícies imersas em água deionizada por 96 horas dos para-raios das amostras 15 a 17 do fabricante E.

3.2.4- Classificação de Hidrofobicidade Transferida da Superfície para Camada de Depósito de Poluição Artificial (Ht)

Na tabela 3.5 são apresentadas as classificações de hidrofobicidade transferida após 96 horas de realizada a deposição de camada de poluição artificial sobre as superfícies dos para-raios. Três para-raios de cada um dos cinco fabricantes estudados foram submetidos a este ensaio, totalizando 15 amostras ensaiadas.

Tabela 3.5 - Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade transferida da superfície dos para-raios para camada depositada de poluição artificial após um período de 96 horas da deposição.

Fabricante	Amostra	Classificação da Hidrofobicidade
A	4	HC 1
	5	HC 1
	6	HC 1
B	32	HC 3
	33	HC 3
	34	HC 3
C	11	HC 5
	12	HC 5
	13	HC 3
D	25	HC 2
	26	HC 3
	27	HC 2
E	18	HC 1
	19	HC 1
	20	HC 1

Observando os resultados da tabela 3.5 é evidente que novamente os para-raios dos fabricantes A e E apresentam os melhores valores de transferência de hidrofobicidade para camada de poluição sólida superficial. A hidrofobicidade medidas nas amostras destes fabricantes mostrou toda a classificação de HC 1, ou seja, a transferência foi total e bem sucedida.

O fabricante D teve bom resultado, porém menos satisfatório que os anteriores, suas amostras transferiram parcialmente a hidrofobicidade para camada de poluição atingindo as classificações HC 2 e HC 3. O fabricante B foi o quarto colocado, suas três amostras ensaiadas resultam em classificação HC 3, aceitável para o fenômeno de transferência, apesar de ser um resultado pequeno.

O fabricante C apresenta novamente o pior resultado. Com classificações HC 3 e HC 5 conclui-se que a transferência de hidrofobicidade para camada de poluição sólido não ocorre ou ocorre em níveis insatisfatórios.

Para os para-raios do fabricante A, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito. As imagens são apresentadas na

figura 3.19. A observação foi realizada 96 horas depois da aplicação da camada de poluição artificial. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.5.



Figura 3.19 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 4 a 6 do fabricante A.

Para os para-raios do fabricante B, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito. As imagens são apresentadas na figura 3.20. A observação foi realizada 96 horas depois da aplicação da camada de poluição artificial. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.5.



Figura 3.20 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 32 a 34 do fabricante B.

Para os para-raios do fabricante C, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies

artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito. As imagens são apresentadas na figura 3.21. A observação foi realizada 96 horas depois da aplicação da camada de poluição artificial. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.5.

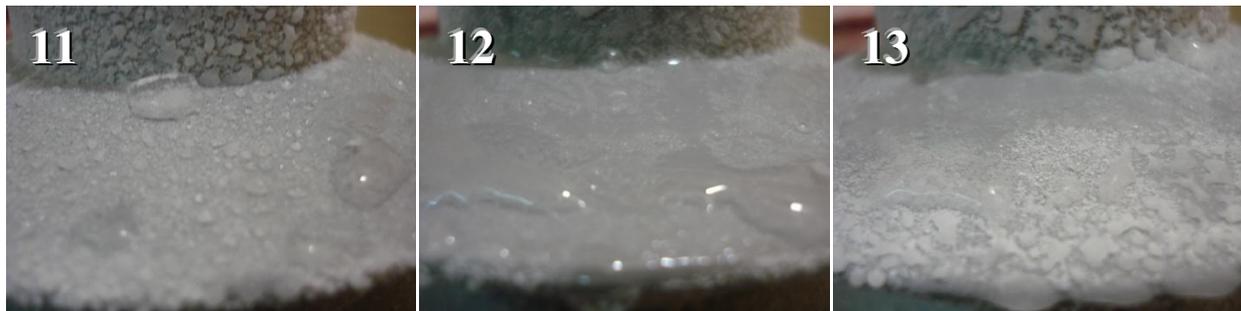


Figura 3.21 - Imagens da hidrofobicidade transferido para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 11 a 13 do fabricante C.

Para os para-raios do fabricante D, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito. As imagens são apresentadas na figura 3.22. A observação foi realizada 96 horas depois da aplicação da camada de poluição artificial. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.5.



Figura 3.22 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 25 a 27 do fabricante D.

Para os para-raios do fabricante E, a classificação foi feita com base nas imagens registradas no momento da análise, 30 segundos após o término da aspersão da água sobre as superfícies artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito. As imagens são apresentadas na figura 3.23. A observação foi realizada 96 horas depois da aplicação da camada de poluição artificial. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.5.



Figura 3.23 - Imagens da hidrofobicidade transferida para superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 18 a 20 do fabricante E.

3.2.5 Classificação de Hidrofobicidade Final Após Transferência da Superfície para Camada de Depósito de Poluição Artificial (Hf)

Na tabela 3.6 são apresentadas as classificações de hidrofobicidade recuperada em 48 horas após transferência em camada de poluição artificial após 96 horas de deposição sobre as superfícies dos para-raios. Três para-raios de cada um dos cinco fabricantes estudados foram submetidos a este ensaio, totalizando 15 amostras ensaiadas.

Tabela 3.6 - Classificação segundo o guia STRI da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após transferência de hidrofobicidade da superfície dos para-raios para o depósito de poluição artificial após um período de 96 horas da deposição.

Fabricante	Amostra	Classificação da Hidrofobicidade
A	4	HC2
	5	HC2
	6	HC2
B	32	HC3
	33	HC3
	34	HC2
C	11	HC3
	12	HC2
	13	HC2
D	25	HC4
	26	HC2
	27	HC3
E	18	HC1
	19	HC2
	20	HC1

Os resultados apresentados na tabela 3.6 são resultados de um ensaio não previsto em norma. Não é comum se avaliar a hidrofobicidade da superfície lavada após uma agressão por deposição de camada de poluição sólida na qual houve um processo de transferência de hidrofobicidade. Entretanto, observamos que os para-raios do fabricante E foram os melhores, pois permaneceram com classificação HC 1 e HC 2 de hidrofobicidade, os para-raios do fabricante A ficaram com o segundo melhor comportamento, a classe de hidrofobicidade ficou no nível HC 2.

Os para-raios dos fabricantes B e C ficaram classificados nos níveis HC 2 e HC 3 de classificação de hidrofobicidade. Aparentemente os para-raios da C não transferem

hidrofobicidade alguma para a camada de poluição, mas a hidrofobicidade do invólucro não se altera devido a exposição ao poluente usado neste ensaio.

A amostra 25 do fabricante D demonstrou classificação HC 4, a amostra 27 atingiu classificação HC 3, ou seja, houve uma queda na hidrofobicidade destas amostras após a transferência da hidrofobicidade. Ao contrário do fabricante C, o material do fabricante D transfere hidrofobicidade para camada sólida de poluente depositado, mas perde hidrofobicidade significativa do invólucro neste processo.

Para os para-raios do fabricante A, a classificação da hidrofobicidade recuperada após a limpeza e posterior repouso de 48 horas das superfícies de para-raios artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito aplicada por 96 horas, foi realizada através de imagens registradas 30 segundos após a aspersão da água nas superfícies ensaiadas. As imagens são apresentadas na figura 3.24. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.6.



Figura 3.24 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 4 a 6 do fabricante A.

Para os para-raios do fabricante B, a classificação da hidrofobicidade recuperada após a limpeza e posterior repouso de 48 horas das superfícies de para-raios artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito aplicada por 96 horas foi realizada através de imagens registradas 30 segundos após a aspersão da água nas superfícies ensaiadas. As imagens são apresentadas na figura 3.25. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.6.



Figura 3.25 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 32 a 34 do fabricante B.

Para os para-raios do fabricante C, a classificação da hidrofobicidade recuperada após a limpeza e posterior repouso de 48 horas das superfícies de para-raios artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito aplicada por 96 horas foi realizada através de imagens registradas 30 segundos após a aspersão da água nas superfícies ensaiadas. As imagens são apresentadas na figura 3.26. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.6.



Figura 3.26 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 11 a 13 do fabricante C.

Para os para-raios do fabricante D, a classificação da hidrofobicidade recuperada após a limpeza e posterior repouso de 48 horas das superfícies de para-raios artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito aplicada por 96 horas foi realizada através de imagens registradas 30

segundos após a aspersão da água nas superfícies ensaiadas. As imagens são apresentadas na figura 3.27. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.6.



Figura 3.27 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 25 a 27 do fabricante D.

Para os para-raios do fabricante E, a classificação da hidrofobicidade recuperada após a limpeza e posterior repouso de 48 horas das superfícies de para-raios artificialmente poluídas com uma camada sólida de depósito aplicada por 96 horas foi realizada através de imagens registradas 30 segundos após a aspersão da água nas superfícies ensaiadas. As imagens são apresentadas na figura 3.28. A classificação de hidrofobicidade destes para-raios está apresentada na tabela 3.6.

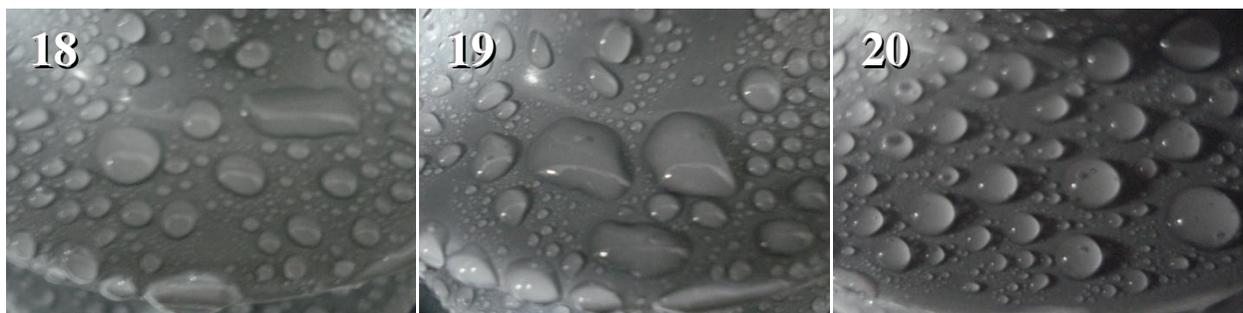


Figura 3.28 - Imagens da hidrofobicidade recuperada em 48 horas após limpeza superfícies artificialmente poluídas por deposição de camada sólida por 96 horas dos para-raios das amostras 18 a 20 do fabricante E.

Com base nos dados das tabelas de 3.1 a 3.6, foram construídos os gráficos 3.1, 3.2, e 3.3 para melhor compreensão os resultados apresentados até agora.

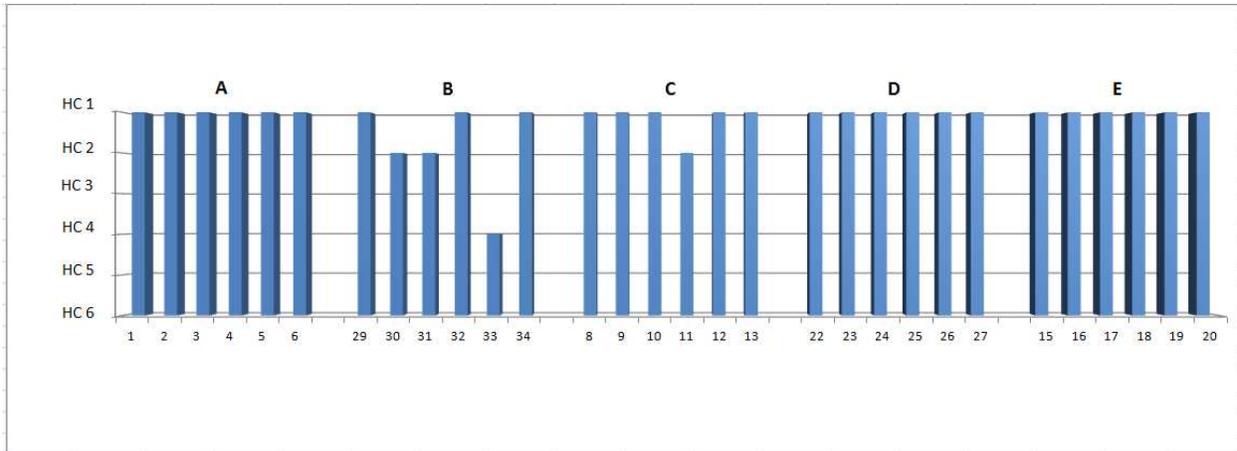


Gráfico 3.1 - Hidrofobicidade das superfícies limpas.

Observando o gráfico 3.1, vê-se de forma muito contundente que todas as amostras de para-raios dos fabricantes A, D e E possuem hidrofobicidade máxima pertencentes a classe HC 1 quando novos. Dentre as amostras do fabricante C, uma amostra foi classificada com hidrofobicidade HC 2 que é considerada alta. Entretanto, entre as amostras de para-raios do fabricante B, duas amostras apresentaram classe HC 2 e uma amostra apresentou classe de hidrofobicidade HC 4 (regiões levemente hidrofílicas e regiões pouco hidrofóbicas) o que é considerado um comportamento ruim para invólucros de para-raios novos sem uso.

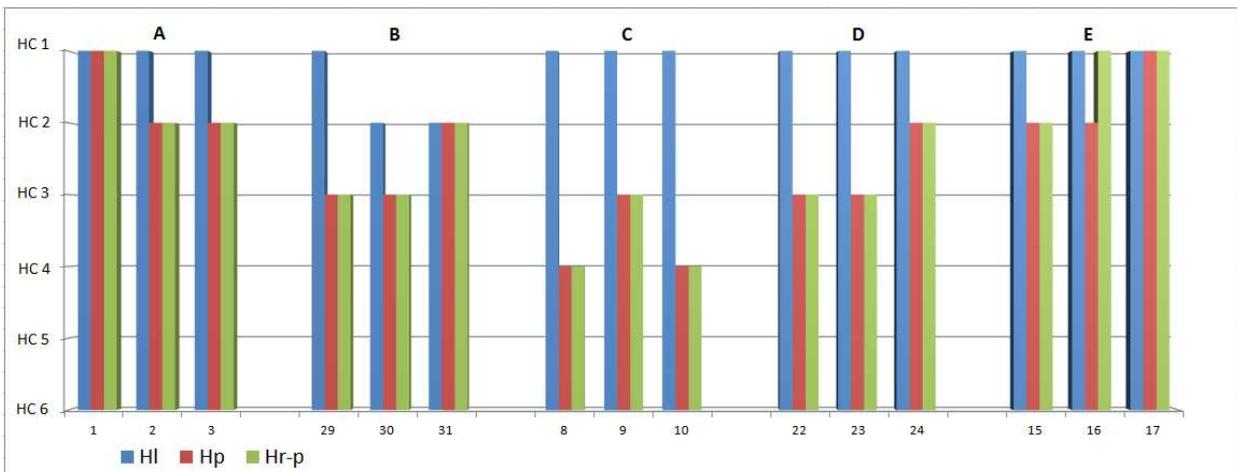


Gráfico 3.2 - Hidrofobicidades das superfícies limpas, da perda por imersão e da recuperação após imersão.

Observando o gráfico 3.2, pode-se observar que as amostras de para-raios dos fabricantes A e E apresentaram reduzida perda de hidrofobicidade HC 1 para HC 2 em duas de suas três amostras ensaiadas após imersão em 96 horas em água deionizada. No caso do fabricante A, as duas amostras que apresentaram perda de hidrofobicidade não recuperaram esta hidrofobicidade após 48 horas de repouso. Uma das amostras do fabricante E que perdeu a hidrofobicidade após 48 horas de descanso, recuperou sua hidrofobicidade. A outra amostra deste mesmo fabricante que perdeu hidrofobicidade não recuperou a hidrofobicidade neste mesmo período.

Aparentemente, os dois fabricantes citados acima, possuem produtos que tendem a manter suas boas características hidrofóbicas por bastante tempo. Também é esperado que no caso destes para-raios, perderem sua hidrofobicidade por alguma solicitação ambiental momentânea, principalmente os para-raios do fabricante E, que eles recuperem parcialmente ou mesmo totalmente a hidrofobicidade original.

O fabricante B e o fabricante D apresentaram perdas significativas em todas as amostras ensaiadas, com exceção de uma amostra do fabricante B que estava classificada em HC 2 e assim permaneceu durante todas as medidas. Entretanto, todas as outras amostras dos dois fabricantes caíram suas classificações de HC 1 e HC 2 para HC 3 após a imersão em água deionizada por 96 horas. Dados 48 horas de descanso, as amostras não recuperaram totalmente ou se quer parcialmente a sua hidrofobicidade original.

Aparentemente estes para-raios tendem a sofrer mais danos de envelhecimento do invólucro em menor período de uso ou instalação devido à perda de hidrofobicidade quando comparado aos para-raios dos fabricantes A e E.

Os para-raios do fabricante C tiveram um desempenho bastante negativo neste ensaio, a hidrofobicidade inicial era máxima para todos os para-raios – classe HC 1. Entretanto, após imersão em água deionizada por 96 horas, a hidrofobicidade de duas das três amostras caiu para classe HC 4 e uma das amostras para HC 3. Este comportamento é bastante preocupante porque indica que, a pesar de inicialmente o material possuir boa hidrofobicidade, ele tende a perder esta característica de forma irreversível em curto período de tempo podendo levar o para-raios a falhas precoces.

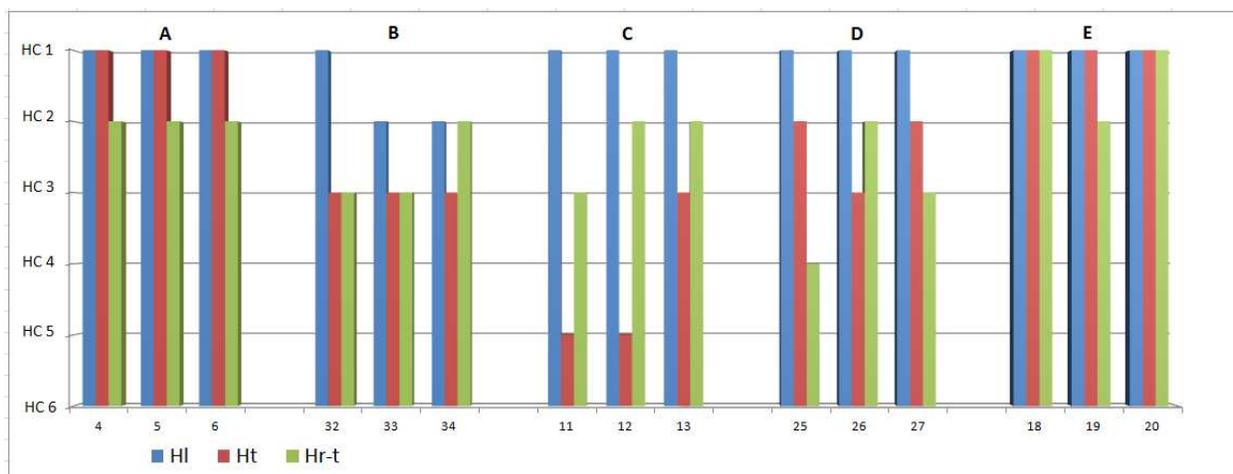


Gráfico 3.3 - Hidrofobicidades das superfícies limpas, transferidas para camada de poluição e recuperada após remoção da camada de poluição.

Observando o gráfico 3.3 fica evidente que, novamente os fabricantes A e E obtiveram os melhores resultados no ensaio de hidrofobicidade. Desta vez três amostras foram submetidas por 96 horas a uma camada de poluente sólido hidrofílico. Os dois fabricantes apresentaram para-raios que conseguiram transferir totalmente a hidrofobicidade da superfície de seus invólucros para a camada de poluição depositada as tornando tão hidrofóbicas quanto o próprio composto de borracha de silicone inicial. Após a limpeza da superfície poluída, e aguardado 48 horas, observou-se que as amostras do fabricante A reduziu sua hidrofobicidade original de HC 1 para HC 2, para as amostras do fabricante E somente uma delas apresentou a mesma redução.

Este comportamento indica a tendência dos para-raios destes dois fabricantes em manter as propriedades hidrofóbicas das superfícies de seus isoladores mesmo em ambientes bastante contaminados, pois ambos podem transferir com facilidade a hidrofobicidade do composto de borracha de silicone para os eventuais depósitos. Quando lavados, naturalmente ou artificialmente, se espera que nenhum deles tenha uma perda acentuada da hidrofobicidade original dos compostos. Para o fabricante E esta característica é ainda mais forte. É de se esperar que para estes dois fabricantes, observe-se um desempenho melhor dos equipamentos, levando em consideração, apenas as características de hidrofobicidade dos materiais.

O fabricante B se classificou na terceira posição no quesito hidrofobicidade transferida. Entretanto no final o comportamento foi ruim. As amostras já partiram de hidrofobicidade inferior quando comparada aos outros fabricantes, a transferência de hidrofobicidade ocorreu de forma parcial, e não houve recuperação significativa desta hidrofobicidade após a remoção da

camada. Traduzindo estes resultados, os para-raios deste fabricante tendem a não ter uma hidrofobicidade adequada já no início da instalação. Frente a ambientes poluídos eles tendem a perder a hidrofobicidade e ao serem limpos, as superfícies tendem a perder permanentemente a hidrofobicidade. Considerando apenas o quesito hidrofobicidade, se espera uma menor durabilidade destes equipamentos.

Os para-raios do fabricante D obtiveram o segundo pior comportamento. Os resultados não são bons, pois a transferência de hidrofobicidade para camada de poluição ocorreu, menos intensamente que nos fabricantes A e E, e a superfície após limpeza, apresentou perdas muito significativas de hidrofobicidade. Isto pode ser interpretado como alguma resistência em ambientes contaminados, entretanto, a tendência a perder a hidrofobicidade é grande, após as primeiras limpezas e lavagens, esta perda pode ser acelerada, podendo levar os para-raios deste fabricante a um menor período de vida considerando apenas o critério de hidrofobicidade.

O pior resultado para hidrofobicidade transferida foi observado nos para-raios do fabricante C. Não houve uma transferência significativa de hidrofobicidade do material polimérico para a camada de poluição e após a remoção da camada sólida de poluente, a superfície dos para-raios apresentou perda significativa da hidrofobicidade original. De forma direta, espera-se que estes para-raios não tenham longevidade em ambientes contaminados, perdendo rapidamente a hidrofobicidade quando poluídos e não se recuperando quando lavados. Estes equipamentos não devem durar muito comparado a todos os outros observando-se apenas os aspectos de hidrofobicidade do composto de borracha de silicone.

3.3 Análise Final sobre Hidrofobicidade dos Para-raios

A metodologia de ensaio do STRI Guide é eficiente para se avaliar a hidrofobicidade dos compostos de borracha de silicone dos diferentes fabricantes de para-raios estudados. É de fácil execução e permite encontrar diferenças significativas de comportamento nestes materiais.

A metodologia de avaliação das hidrofobicidades de compostos de borracha de silicone quando novos (Hl), quando perdida por imersão em água (Hp), quando recuperada após imersão (Hr-p), quando transferida para camada de poluição artificial (Ht) e após remoção de camada de

depósito (Hr-t) é eficiente para classificar a hidrofobicidade destes materiais em diferentes situações de solicitações.

A metodologia de aplicação de camada sólida poluente em superfície de para-raios de compostos de borracha de silicone proposta neste trabalho e adaptada a partir da norma DL/T 810-2002 foi eficiente para realizar o ensaio proposto.

Quando novos, os para-raios de todos os fabricantes possuem hidrofobicidade boa. Os fabricantes A, D e E possuem excelente hidrofobicidade, o fabricante C hidrofobicidade excelente a muito boa e o fabricante B hidrofobicidade muito boa a regular.

Quanto a hidrofobicidade perdida por imersão, os fabricantes A e E tiveram perdas desprezíveis indo de hidrofobicidade HC 1 a HC 2 ou mantendo-se em HC 1. Os fabricantes B e D diminuíram para HC 3, ou seja, respectivamente de muito bom para regular e de excelente para regular. O fabricante C apresentou quedas na hidrofobicidade de regular para levemente hidrofílico;

Quanto a recuperação da hidrofobicidade após imersão, os fabricantes A e E apresentaram a melhor recuperação retornando para níveis de HC 2 para HC 1 (parcialmente). Os fabricantes D e B não apresentaram recuperação significativa da hidrofobicidade e o fabricante C também não.

Quanto a hidrofobicidade transferida de composto de borracha de silicone para camada sólida de poluente, os fabricantes A e E apresentaram transferência total de hidrofobicidade mantendo a superfície poluída tão hidrofílica quanto o próprio composto. O fabricante D teve um desempenho um pouco inferior, a transferência foi parcial. O fabricante B teve um desempenho ruim com transferência parcial e o fabricante C teve pouca transferência ou desprezível.

A hidrofobicidade das amostras do fabricante E após a remoção da poluição permaneceu máxima, do fabricante A caiu de excelente para muito boa, ou seja, HC 1 para HC 2. A hidrofobicidade dos para-raios do fabricante B ficou em níveis HC 3, para o fabricante D uma das amostras atingiu nível HC 4. O fabricante C apresentou os piores resultados;

Levando em consideração apenas a hidrofobicidade inicial dos invólucros estudados, a qualidade dos mesmos pode ser ordenada da seguinte forma, do melhor para o pior: $E = A = D \geq C \geq B$.

Em uma escala geral, considerando todas as hidrofobicidades medidas a qualidade dos invólucros dos para-raios estudados pode ser ordenada da seguinte forma, do melhor para o pior: $E \geq A > B \geq D > C$.

Capítulo 4 - Avaliação do Comportamento de Para-raios Poliméricos de Distribuição em Tanques de Aço Inox sob Clima Simulado – Envelhecimento Acelerado

4.1 Tanques de Ensaios

Para a realização da pesquisa, foram utilizados dois tanques de aço inox climatizados, com temperatura controlada, umidade e precipitação acumulada. As amostras no interior dos tanques ficaram continuamente submetidas à tensão de 8,4KV. A temperatura e o nível de precipitação escolhidos representam as condições mais severas das regiões Sudeste e Nordeste do país, de acordo com o estudo de condições climáticas apresentado anteriormente. O esquema mostrando a montagem dos tanques para realização de ensaios em para-raios poliméricos de distribuição está mostrado nas figuras 4.1 a 4.4.

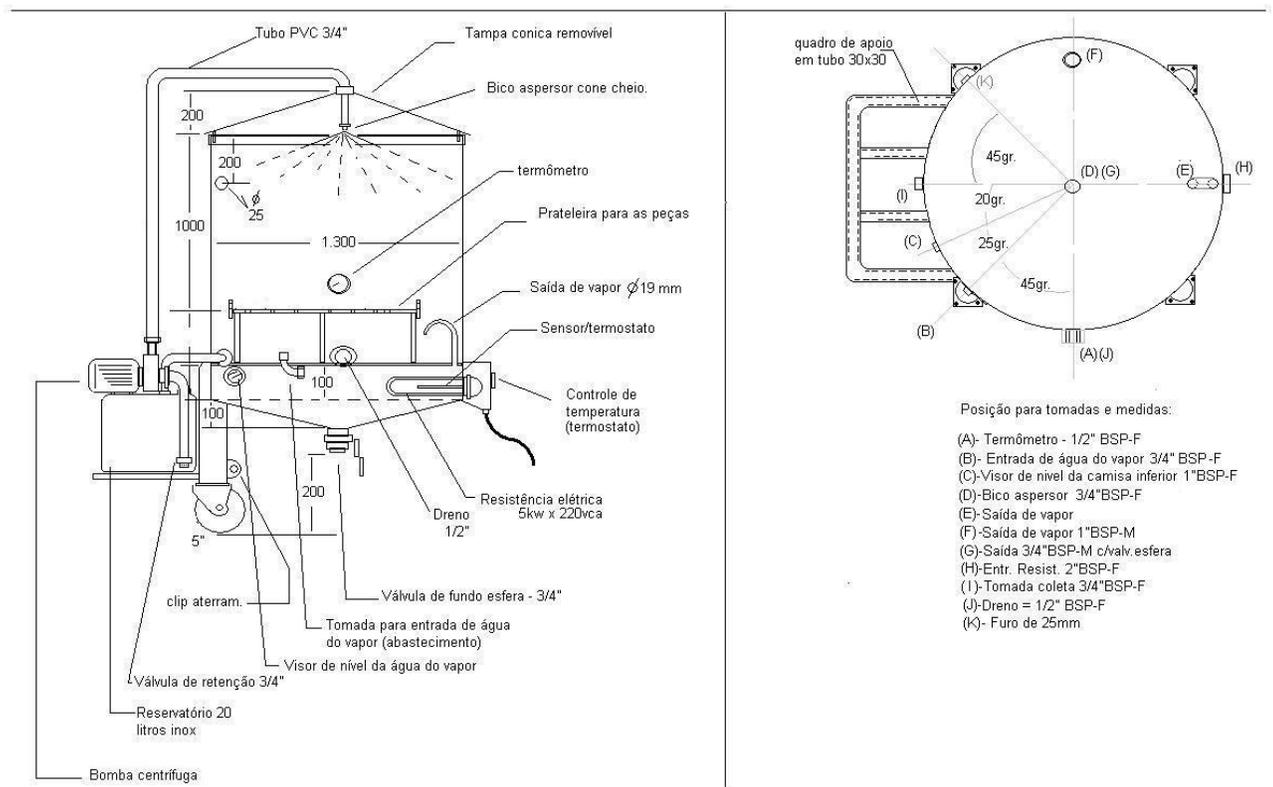


Figura 4.1 – Tanque para realização de ensaios em para-raios (vista 1)

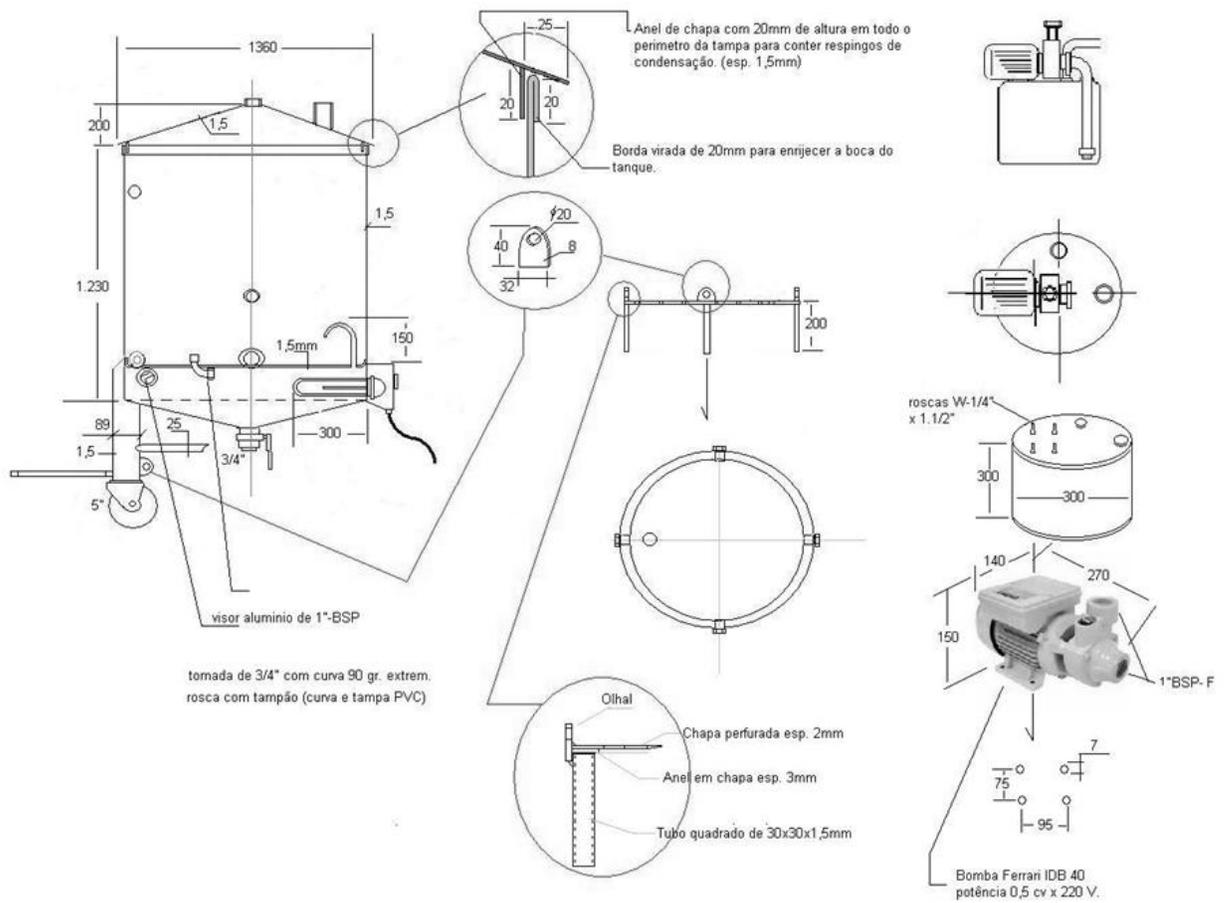


Figura 4.2 – Tanque para realização de ensaios em para-raios (vista 2)



Figura 4.3 Tanques para ensaios energizados



Figura 4.4 – Instalação dos para-raios nos tanques de ensaios energizados

Os tanques foram construídos com aço inox em virtude da sua grande suportabilidade à corrosão. Funcionam por meio do aquecimento do reservatório inferior de água, por meio de uma resistência de 5 kW – 220 V– CA. Um termostato na parte superior regula a temperatura das amostras, onde tem-se uma atmosfera de vapor saturado e aquecido. O excedente da água em forma de vapor, sobe ao topo do tanque e sai do sistema, através de uma saída de vapor localizada no topo da tampa cônica, conforme figura 4.2.

O sistema de simulação de chuva é composto de um bico aspersor, ligado a uma tubulação, a qual recebe água de um reservatório instalado do lado externo ao tanque, através de uma bomba centrífuga que impulsiona a água para dentro do tanque pulverizando assim todos os para-raios instalados no suporte isolante no fundo tanque.

Para a simulação de chuva vertical, foram utilizados os dados levantados no capítulo 2 “Condições Ambientais”, o qual norteou a quantidade de chuva(precipitação acumulada - mm) a ser realizado por mês, bem como o tempo que este deveria ficar ligado. É importante ressaltar, que devido à forma geométrica dos tanques e por estarem permanentemente fechados e energizados, o sistema mais viável para simulação de chuva foi o vertical.

O projeto contemplou a utilização de três tanques. O tanque 1 ficou desenergizado e não é objeto desta pesquisa. Os tanques 2 e 3 objeto deste trabalho, ficaram energizados com uma tensão de 8,4KV.

As tabelas 4.1 e 4.2 mostram a quantidade de chuva com o respectivo tempo de funcionamento das bombas para os tanques 2 e 3.

Tabela 4.1 - Tanque representativo do Nordeste – Patos – Tanque 2

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva (mm)	140,44	160,20	194,80	123,99	79,93	36,27	8,27	4,27	1,45	9,32	2,85	54,50
Tempo (min)	219,86	250,81	304,97	194,12	125,14	56,78	12,95	6,69	2,26	14,59	4,47	85,32

Tabela 4.2 - Tanque representativo do Sudeste – Santo Antônio de Pádua – Tanque 3

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva (mm)	117,00	57,70	85,70	20,60	42,90	7,70	21,08	19,47	56,06	121,84	190,40	283,24
Tempo (min)	126,40	62,34	92,59	22,26	46,35	8,32	22,78	21,03	60,57	131,63	205,70	306,00

4.2 - Análise do Comportamento da Hidrofobicidade nos Para-raios Poliméricos de Distribuição, após Sete Ciclos de Envelhecimento Acelerado.

Para esta pesquisa, cada ciclo foi composto de 23 dias de ensaios com um intervalo de aproximadamente 7 dias para testes de hidrofobicidade e elétricos, com posterior remontagem dos para-raios nos tanques. Após o término de cada ciclo, todos 30 para-raios, seis por fabricante, foram ensaiados para verificação da hidrofobicidade. Os itens de 4.1.2 a 4.1.6 mostram o desempenho das amostras nos tanques 2 e 3 que representaram respectivamente Patos (NE) e Santo Antônio de Pádua (SE).

4.2.1 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante A nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.

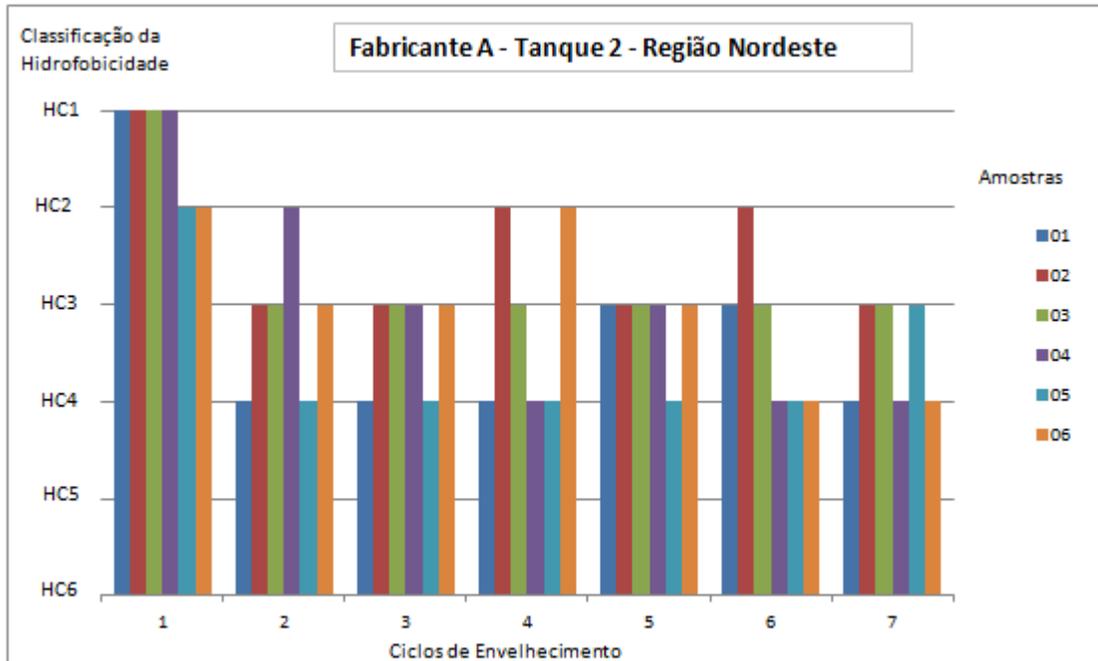


Gráfico 4.1 – Hidrofobicidade fabricante A Tanque 2 Região Nordeste

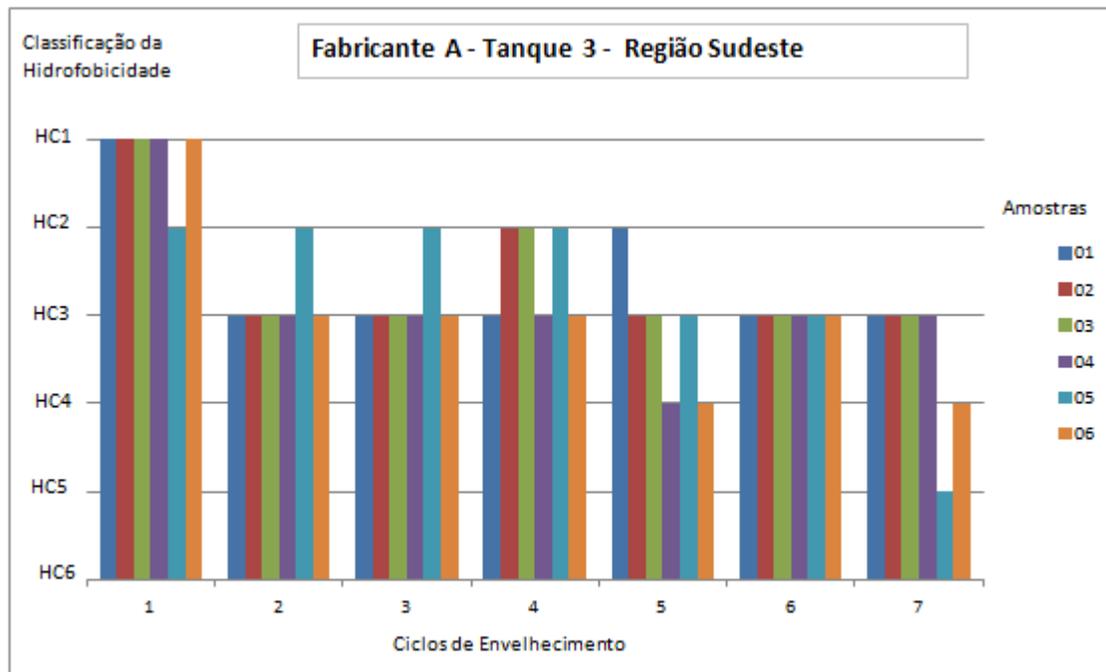


Gráfico 4.2 - Hidrofobicidade Fabricante A Tanque 3 Região Sudeste

Para o fabricante A, as variações de temperatura, umidade e precipitação acumulada, referentes às diferentes regiões do país, levaram a algumas mudanças no comportamento das amostras, para a análise da hidrofobicidade durante o término de cada ciclo de envelhecimento.

No primeiro ciclo, o comportamento das amostras foi quase homogêneo, exceto pela amostra 6 que no tanque 2 ficou em HC2, e no tanque 3 ficou em HC1. Nestas duas classificações, as amostras podem ser consideradas hidrofóbicas. As demais amostras nos dois tanques, não tiveram variação ficando as amostras 1, 2, 3 e 4, com a classificação HC1 e a amostra 5 com a classificação HC2, todas mantendo-se hidrofóbicas.

Para o segundo ciclo, obteve-se muitas variações na classificação hidrofobicidade das amostras de acordo com a região estudada. A amostra 1 do tanque 2 ficou em HC4, passando de hidrofóbica para hidrofílica. Enquanto que no tanque 3 a amostra 1 teve a classificação HC3, mantendo-se ainda hidrofóbica. Para as amostra 2 e 3 a classificação foi de HC3, mantendo a hidrofobicidade para os dois tanques. Já amostra 4, manteve-se em uma classificação mais alta, HC2, permanecendo-se hidrofóbica. A amostra 5 teve uma grande variação, considerando as diferentes regiões estudadas. No tanque 2 ficou em HC4, assim hidrofílica, enquanto que no tanque 3 manteve sua classificação do ciclo anterior em HC2, continuando a ser hidrofóbica. Para a amostra 6, a classificação foi a mesma para os dois tanques, ficando em HC3.

No terceiro ciclo, a amostra 1 no tanque 2 ficou com a classificação HC4, a mesma do ciclo anterior. Porém no tanque 3 manteve-se a hidrofóbica ficando com a classificação HC3. Já as amostras 2, 3, 4 e 6, mantiveram a classificação HC3 para os dois tanques. A amostra 5 passou de HC4 no tanque 2, para HC2 no tanque 3, mantendo os resultados dos ciclos anteriores com a classificação de hidrofóbica.

O quarto ciclo, também mostrou muitas variações na classificação da hidrofobicidade referente aos dois tanques (regiões Sudeste e Nordeste). A amostra 1 variou de HC4 no tanque 2, para HC3 no tanque 3, mostrando uma recuperação da hidrofobicidade. A amostra 2 manteve-se em HC2 nos dois tanques, recuperando a hidrofobicidade, se

comparado ao ciclo anterior. Na amostra 3, observa-se uma variação de HC3 no tanque 2, para HC2 no tanque 3, mostrando neste tanque, uma recuperação na hidrofobicidade. A amostra 4 passa de HC4 no tanque 2, para HC3 no tanque 3. Vê-se neste caso uma perda de hidrofobicidade no tanque 2, e uma regularidade no tanque 3, observando-se os ciclos 2, 3 e 4. Para a amostra 5 a variação ficou de HC4 no tanque 2, para HC2 no tanque 3, mostrando o mesmo resultado dos ciclos 2, 3. Já a amostra 6 no tanque 2 ficou com uma classificação HC2, recuperando a hidrofobicidade com relação aos ciclos 2 e 3. No tanque 3 manteve a mesma classificação dos ciclos 2, 3, ou seja, HC3.

No quinto ciclo, a amostra 1 teve a classificação HC3, mostrando neste ciclo, uma recuperação com relação aos ciclos 2, 3 e 4, onde sua classificação era HC4. Para as amostras 2 e 3, a classificação foi a mesma nos dois tanques, HC3. A amostra 4 ficou com a classificação HC3 no tanque 2, enquanto que no tanque 3, obteve uma classificação HC4. Observando os tanques pode-se ver que no tanque 2, esta amostra teve uma recuperação da hidrofobicidade, se comparada com o ciclo anterior. Porém para o tanque 3 tem-se uma perda de hidrofobicidade em relação aos ciclos anteriores. A amostra 5 manteve-se na mesma classificação dos ciclos 2, 3 e 4 para tanque 2, ou seja HC4. No tanque 3 esta amostra obteve uma classificação HC3, porém apresentou uma perda de hidrofobicidade com relação aos ciclos anteriores. A amostra 6 apresentou no tanque 2, uma perda de hidrofobicidade em relação ao ciclo anterior onde havia recuperado, voltando a classificação HC3. Para o tanque 3 a perda de hidrofobicidade foi ainda maior, passando para a classificação HC4.

Para o sexto ciclo, a amostra 1 manteve-se constante em relação ao ciclo anterior no tanque 2, ficando em HC3. Com relação ao tanque 3 a amostra teve uma perda hidrofobicidade, passando para a classificação HC3. A amostra 2 obteve uma recuperação da hidrofobicidade, passando para a classificação HC2, a mesma conseguida no quarto ciclo. Já no tanque 3 manteve a classificação dos ciclos anteriores, ficando em HC3. A amostra 3 teve a mesma classificação dos ciclos anteriores, ficando em HC3 para o tanque 2. Analisando o tanque 3 vê-se que a amostra também manteve a mesma classificação do ciclo anterior em HC3. Para as amostras 4, 5 e 6, a classificação da hidrofobicidade ficou em HC4, mostrando uma perda de hidrofobicidade das amostras 4

e 6, e uma manutenção da classificação por parte da amostra 5, referente ao tanque 2. Já no tanque 3 as mesmas amostras tiveram comportamento diferentes, ficando as amostras 4 e 6 com classificação HC3, mostrando uma recuperação da hidrofobicidade com relação ao ciclo anterior, enquanto que a amostra 5 manteve-se em HC3. Comparando os resultados das amostras neste ciclo nos dois tanques, vê-se no tanque 3 que as amostras se mantiveram constantes em HC3, ao contrário do tanque dois onde as amostras, 4, 5 e 6 passaram a ser hidrofílicas.

No sétimo e último ciclo desta pesquisa, pode-se observar que a amostra 1 em relação ao ciclo anterior no tanque 2, passou de HC3 para a classificação HC4, sendo agora hidrofílica. Com relação ao tanque 3, a amostra manteve sua classificação anterior em HC3. As amostras 2 e 3 em ambos os tanques, obtiveram a mesma classificação, ficando em HC3. A amostra 4 em relação ao ciclo anterior no tanque 2 manteve a classificação HC4, enquanto que no tanque 3, obteve a classificação HC3, igual ao ciclo anterior. Para a amostra 5 no tanque 2, vê-se a recuperação de HC4 no ciclo anterior, para HC3 neste ciclo, mantendo-se hidrofóbica. Comparando com o tanque 3, é possível observar uma acentuada queda neste ciclo, passando da classificação anterior em HC3, para a classificação atual em HC5, a primeira com este índice referente ao fabricante A. Já a amostra 6 obteve a mesma classificação nos dois tanques, ficando em HC4, ou seja, hidrofílica. Porém se compararmos com o ciclo anterior, podemos observar, que no tanque 3 houve perda de hidrofobicidade, passando a HC4, enquanto que no tanque 2, a amostra manteve-se na classificação HC4.

4.2.1.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante A nos Tanques 2 e 3.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios de envelhecimento acelerado nos para-raios poliméricos de distribuição referente ao fabricante A, fica claro que a região Nordeste (Tanque 2), apresentou ao longo dos ciclos de envelhecimento acelerado, uma maior degradação do polímero, mostrando no sétimo ciclo que 50% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos e os outro 50% apresentaram-se hidrofóbicos,

porém com a classificação mínima de HC3. (Na região Sudeste (Tanque 3), observa-se que 33% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos e os outros 67% apresentaram-se hidrofóbicos, também com a classificação HC3).

4.2.2 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante B nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.

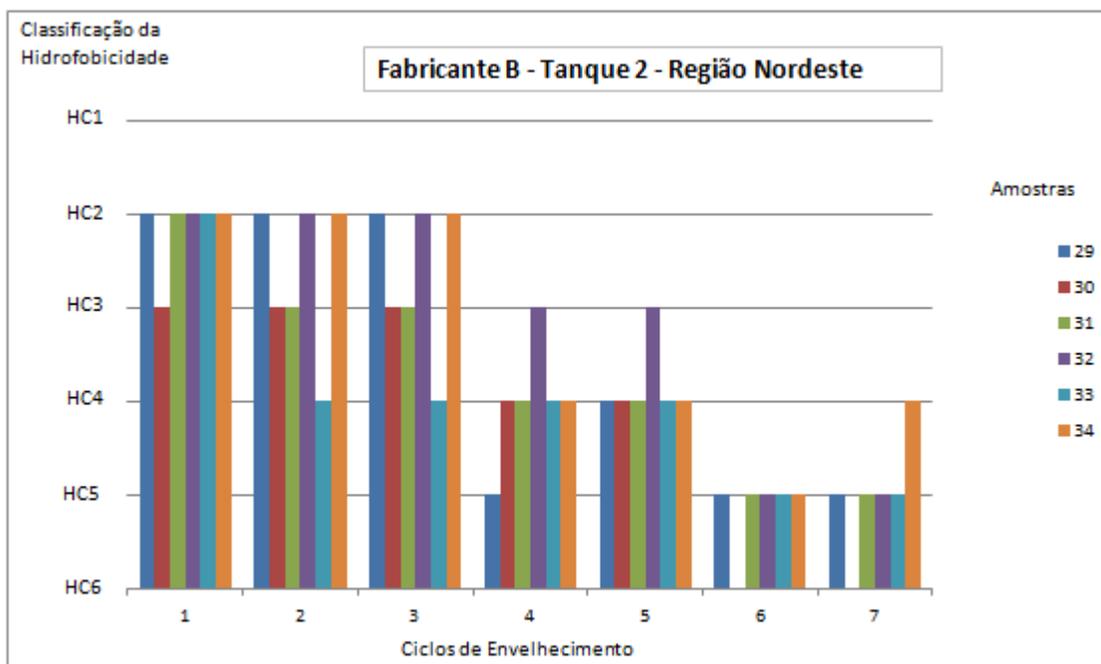


Gráfico 4.3 - Hidrofobicidade Fabricante B Tanque 2 Região Nordeste

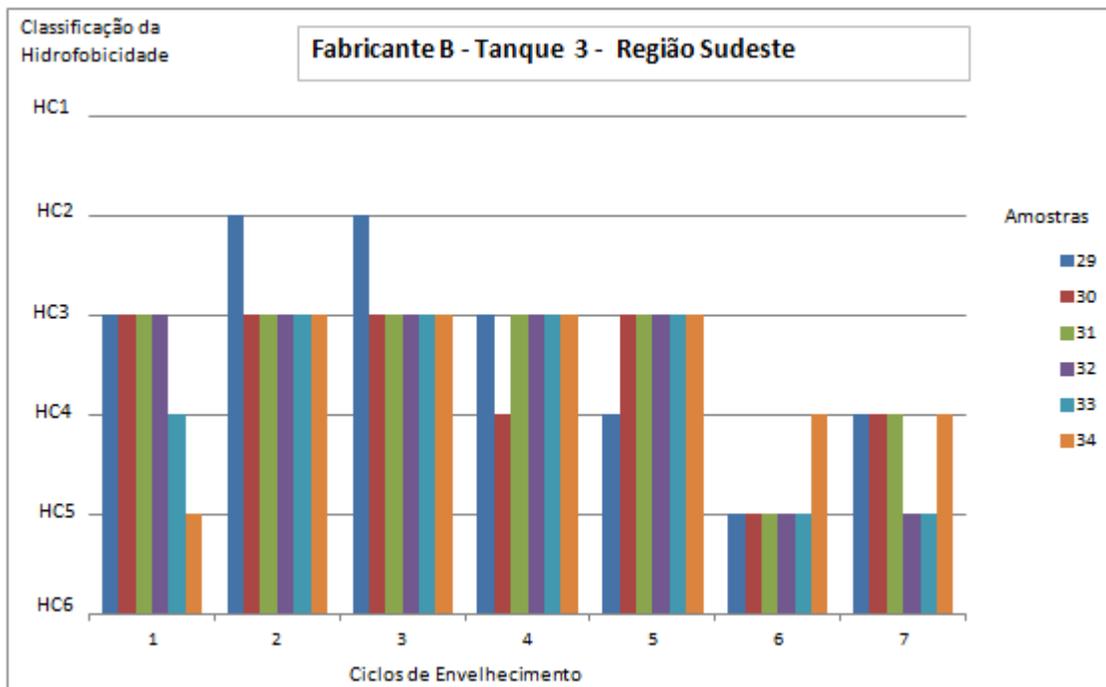


Gráfico 4.4 - Hidrofobicidade Fabricante B Tanque 3 Região Sudeste

No primeiro ciclo, o fabricante B teve sua classificação iniciada em HC2 para o tanque 2, apenas a amostra 30 teve a classificação HC3. Para o tanque 3, o comportamento das amostras obteve a classificação HC3 para as amostras 29, 30, 31 e 32, porém a amostra 33 ficou HC4 e por fim a amostra 34 obteve a pior classificação chegando a HC5, com a classificação de hidrofílica.

O segundo ciclo, apresenta certa estabilidade nos valores das amostras 29, 32 e 34, que se mantiveram na classificação HC2 para o tanque 2, se comparado com o primeiro ciclo. A amostra 30 manteve sua classificação anterior, HC3, enquanto que a amostra 31 teve uma perda de hidrofobicidade, passando para a classificação HC3. Já a amostra 33, obtve a pior classificação desse ciclo no tanque 2, chegando a HC4, passando a ser hidrofílica. Com relação ao tanque 3, observamos que a amostra 29 foi a única a recuperar a hidrofobicidade, passando a HC2, e mantendo a mesma classificação no tanque 2. As amostras 30, 31 e 32 mantiveram a mesma classificação do ciclo anterior, ficando em HC3. Neste caso as amostras 30 e 31 tiveram a mesma classificação no tanque 2, enquanto que a amostra 32 apresentou uma perda de hidrofobicidade passando a HC3,

comparada ao tanque 2. As amostras 33 e 34 apresentaram uma boa recuperação da hidrofobicidade, comparando-se com ciclo anterior do tanque 3. As duas amostras obtiveram a classificação HC3, passando a ser hidrofóbicas.

Para o terceiro ciclo, observa-se que a mostra 29 mantém-se constante com relação aos ciclos anteriores com a classificação HC2, tanto para o tanque 2 quanto para o tanque 3. As amostras 30 e 31, também tiveram o mesmo comportamento, mantendo a classificação dos ciclos anteriores nos dois tanques em HC3. Já a amostra 32 teve o mesmo comportamento do ciclo anterior no tanque 2, porém comparada a amostra no tanque 3, vemos uma perda de hidrofobicidade, passando a HC3. A amostra 33 manteve a classificação de HC4 ou seja hidrofílica no tanque 2, porém no tanque 3, apresentou uma recuperação da hidrofobicidade, passando a HC3. A amostra 34 manteve-se na condição de HC2 desde o primeiro ciclo no tanque 2, porém se comparado ao tanque 3, apesar de permanecer na posição HC3, a perda de hidrofobicidade ainda permanece.

No quarto ciclo a mostra 29 do fabricante B, obteve a sua pior classificação até este ciclo para o tanque 2, chegando a HC5- hidrofílica. Houve uma perda considerável de hidrofobicidade se comparada ao ciclo anterior no mesmo tanque. O mesmo pode ser observado para o tanque 3, onde a amostra também apresenta uma perda de hidrofobicidade com relação ao ciclo anterior passando a HC3, porém manteve-se hidrofóbica. A amostra 30 apresentou o mesmo desempenho nos dois tanques, ou seja, houve uma perda de hidrofobicidade e passou para a classificação HC4 nos dois casos. Já a amostra 31 no tanque 2, apresentou uma perda de hidrofobicidade tendo a classificação em HC4 passando a ser hidrofílica. Diferentemente no tanque 3, a amostra manteve sua classificação dos ciclos anteriores em HC3. A amostra 32 no tanque 2 teve perda da hidrofobicidade, passando para HC3. Esta amostra no tanque 3 manteve-se constante em relação aos ciclos anteriores também com a classificação HC3. Já amostra 33 manteve a classificação dos dois ciclos anteriores referente ao tanque 2, ficando em HC4, neste caso mantendo-se hidrofílica. No tanque 3, esta amostra continuou mantendo a classificação em HC3. Para a amostra 34, observamos uma sensível perda de hidrofobicidade no tanque 2, passando de HC2 para HC4, ficando hidrofílica. Comparando com o tanque 3,

este resultado não se repete, pois a amostra continua mantendo a hidrofobicidade com a classificação HC3 – hidrofóbica.

O quinto ciclo apresenta um resultado bastante interessante para o tanque 2, pois quase repete o resultado do ciclo anterior, com exceção da amostra 29 que apesar de ganhar um nível passando a HC4, continuou hidrofílica. As amostras 30, 31, 32, 33 e 34 tiveram resultados idênticos ao ciclo anterior HC3. Comparando com o tanque 3, verificamos que no geral o desempenho foi superior ao do tanque 2, pois todas as amostras tiveram a classificação HC3, exceto a amostra 29 que passou de hidrofóbica para hidrofílica com a classificação HC4.

Chegando ao sexto ciclo, são identificadas sensíveis perdas de hidrofobicidades nos dois tanques, tendo inclusive a amostra 30 do tanque 2, com a pior classificação do Guia STRI em HC6, ou seja, hidrofílica. Este resultado também se refletiu no tanque 3, porém ficando com a classificação em HC5. As amostras 29, 31, 32 e 33 dos dois tanques, tiveram o mesmo desempenho ficando com a classificação de HC5. Este resultado mostra uma grande degradação do polímero ao final de seis anos de envelhecimento acelerado, com consequente perda da hidrofobicidade. A amostra 34 também teve o mesmo comportamento, porém tanque 2 ficou com a classificação HC5 e no tanque 3 com HC4, ambas hidrofílicas.

O último ciclo apresentou resultados diferentes para os dois tanques, sem com isso conseguir recuperar a hidrofobicidade dos para-raios. No tanque 2 os resultados foram idênticos ao ciclo anterior com exceção da amostra 34, que conseguiu passar para HC4. As amostras 29, 31, 32 e 33 continuaram com a classificação HC5 - hidrofílica. A amostra 30 continuou com a pior classificação do Guia STRI em HC6, conforme ciclo anterior. Comparando com as amostras do tanque 3, pode-se verificar que as amostras 29, 30 e 31, passaram para HC4, porém continuaram hidrofílicas. As amostras 32 e 33 permaneceram em HC5, conforme ciclo anterior. A amostra 34 teve o mesmo desempenho do ciclo anterior e igual ao tanque 2, ficando com a classificação em HC4.

4.2.2.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante B nos Tanques 2 e 3.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios de envelhecimento acelerado nos para-raios poliméricos de distribuição referente ao fabricante B, novamente observa-se que a região Nordeste (Tanque 2), apresentou ao longo dos ciclos de envelhecimento acelerado, uma maior degradação do polímero, mostrando no sétimo ciclo que 100% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos. Na região Sudeste (Tanque 3), vê-se que 100% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos, porém 67% tiveram a classificação HC4.

4.2.3 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante C nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.

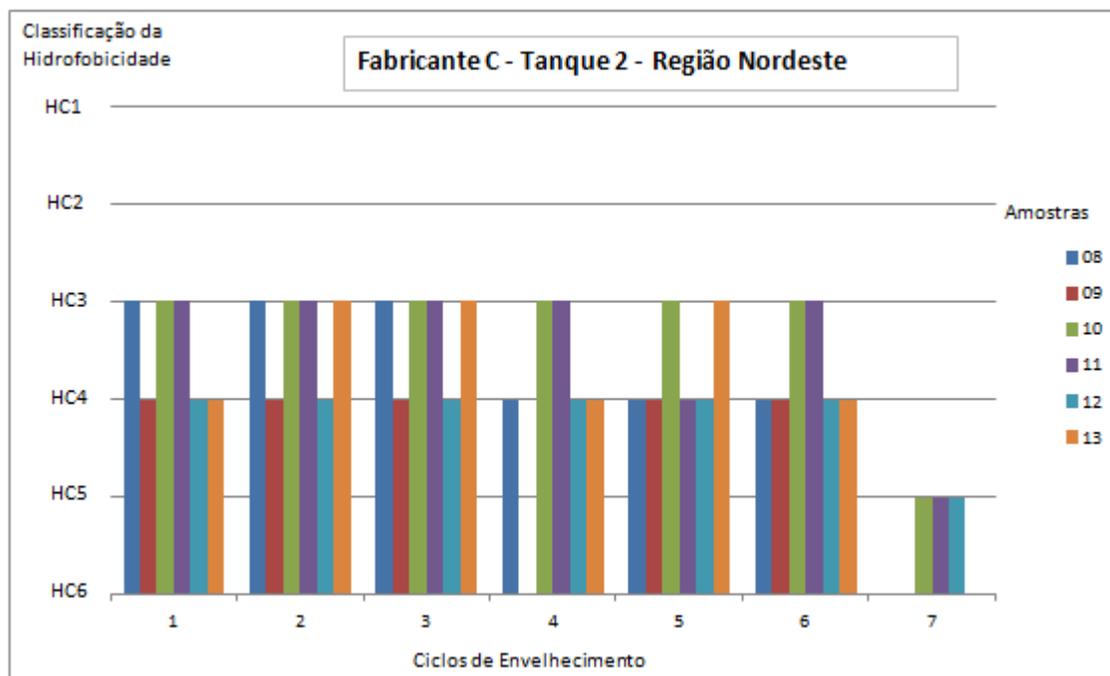


Gráfico 4.5 - Hidrofobicidade Fabricante C Tanque 2 Região Nordeste

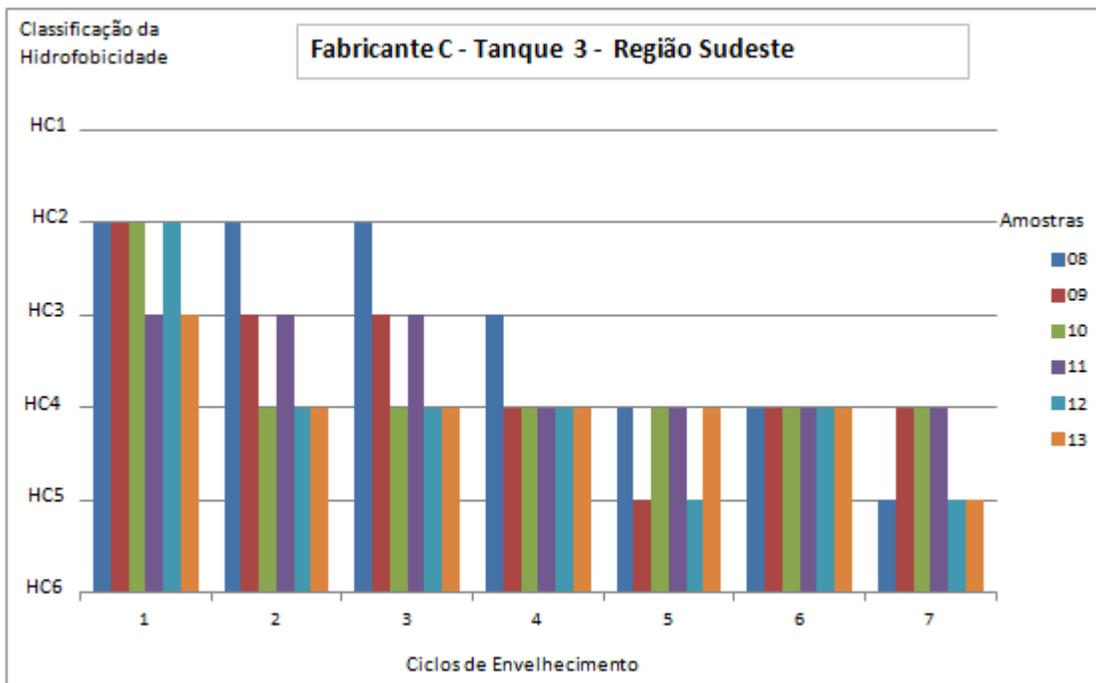


Gráfico 4.6 - Hidrofobicidade Fabricante C Tanque 3 Região Sudeste

Para o fabricante C, observa-se uma característica diferente no tanque 2, pois nenhuma das amostras alcançou a classificação superior a HC3 desde o primeiro ciclo.

No primeiro ciclo, as amostras 8, 10 e 11 tiveram no tanque 2 a classificação de hidrofobicidade HC3. Comparada ao tanque 3, as amostras 8 e 10 tiveram classificação HC2 e amostra 11 manteve a classificação do tanque 2 em HC3. O comportamento das amostras 9 e 12 foram diferentes, pois, no tanque 2 ficaram com a classificação HC4, neste caso hidrofílicas, enquanto que no tanque 3, alcançaram uma classificação HC2 - hidrofóbicas. A amostra 13 variou de HC4 no tanque 2 para HC3 no tanque 3, apresentando uma recuperação da hidrofobicidade.

Para o segundo ciclo, observa-se uma manutenção no tanque 2 dos resultados obtidos no ciclo anterior, com exceção da amostra 13, que recuperou a hidrofobicidade passando a HC3 no tanque 2, porém em relação ao tanque 3, passou a ser hidrofílica com a classificação HC4. As amostras de 8 a 12 mantiveram os mesmos resultados, ou seja, as amostras 8, 10 e 11 tiveram no tanque 2 a classificação de hidrofobicidade HC3,

enquanto que as amostras 9, 12 ficaram com a classificação HC4. Comparando com o tanque 3, verificamos que a amostra 8 teve um desempenho melhor, ficando com a classificação HC2. A amostra 9 também teve uma classificação melhor, ficando em HC3. Já amostra 10, ficou com desempenho pior, obtendo a classificação HC4. Para a mostra 11, observa-se uma manutenção da classificação nos dois ciclos e em relação aos dois tanques, permanecendo em HC3. A amostra 12 recebeu a mesma classificação nos dois tanques ficando com HC4 - hidrofílica. A amostra 13 passou de uma classificação HC3 no tanque 2, para HC4 no tanque 3, passando a ser hidrofílica.

No terceiro ciclo, as amostras de 8 e 13 mantiveram a mesma classificação do ciclo anterior no tanque 2. Comparando com o tanque 3, observa-se para amostra 8 um resultado igual ao ciclo anterior, ou seja, HC2, porém com uma sensível recuperação em relação ao tanque 2, a qual obteve a classificação HC3. A amostra 9 manteve a hidrofobicidade do ciclo anterior para os dois tanques, ficando com a classificação HC4 no tanque 2 e HC3 no tanque 3. Já a amostra 10 apresentou o mesmo resultado do ciclo anterior ficando em HC4 - hidrofílica no tanque 3, mas comparado ao tanque 2, o seu desempenho foi superior, pois obteve neste tanque a classificação HC3. As amostras 11 e 12 tiveram resultados semelhantes aos ciclos anteriores nos dois tanques, ou seja, classificação HC3. Já amostra 13, continuou obtendo um desempenho melhor no tanque 2 com HC3, porém no tanque 3, recebeu a classificação HC4.

O quarto ciclo, a amostra 8 apresenta uma perda de hidrofobicidade em relação aos ciclos anteriores, passando para a classificação HC4 – hidrofílica no tanque 2. Já no tanque 3 esta amostra obteve um resultado pior do que no ciclo anterior com a classificação HC3, porém melhor do que o verificado no tanque 2. Para a amostra 9, pode-se verificar um fato interessante ocorrido neste ciclo no tanque 2, pois esta amostra obteve a pior classificação do Guia STRI, ficando em HC6. O mesmo não ocorreu no tanque 3, a qual obteve a classificação HC4, porém ainda hidrofílica. Já as amostras 10 e 11 apresentaram desempenho igual ao ciclo anterior no tanque 2, ficando com a classificação HC3, enquanto que no tanque 3 as mesmas amostras apresentaram desempenho inferior, ficando com a classificação HC4. Pode-se observar que no caso da amostra 11 no tanque 3, houve perda de hidrofobicidade. Para a amostra 12, não houve modificação na sua

classificação neste ciclo para os dois tanques, permanecendo em HC4. Já amostra 13, obteve no tanque 2 uma perda de hidrofobicidade, passando a classificação HC4. Manteve a mesma classificação no tanque 3 em relação ao anterior.

No quinto ciclo, verifica-se a amostra 8 com um comportamento igual ao ciclo anterior no tanque 2, ficando com a classificação HC4. Porém no tanque 3, houve perda de hidrofobicidade, pois passou de HC3 para HC4. Já a amostra 9 que no ciclo anterior havia obtido a pior classificação no tanque 2, conseguiu recuperar-se passando à classificação HC4, porém ainda mantendo-se hidrofílica. Para esta amostra no tanque 3, a perda de hidrofobicidade ficou mais evidente com a classificação HC5. A amostra 10 continuou com mesma classificação dos ciclos anteriores nos dois tanques, ou seja, HC3 no tanque 2 e HC4 no tanque 3. Para a amostra 11 observamos uma perda de hidrofobicidade no tanque 2, obtendo a classificação HC4, a mesma obtida no tanque 3, mas neste caso apenas manteve a classificação anterior. A amostra 12 manteve a mesma classificação do ciclo anterior no tanque 2, ficando em HC4, porém em comparação com o tanque 3 e com o ciclo anterior deste tanque, houve perda de hidrofobicidade obtendo a classificação HC5. A amostra 13 recuperou a hidrofobicidade perdida no ciclo anterior no tanque 2 com a classificação HC3, porém no tanque 3, continuou hidrofílica com a classificação HC4.

Para o sexto ciclo, pode-se observar que o desempenho no tanque 2, foi melhor do que no tanque 3. As amostras 10 e 11 conseguiram manter a classificação HC3, ou seja, hidrofóbicas. As amostras 8, 9, 12 e 13, tiveram o mesmo desempenho neste ciclo referente aos dois tanques, ficando com a classificação HC4 – hidrofílicas. Já as amostras 10 e 11, tiveram no tanque 2 a classificação HC3, mantendo-se hidrofóbicas e para o tanque 3 a classificação HC4, ou seja, hidrofílicas. Em relação ao tanque 2, podemos observar que a mostra 11 recuperou a hidrofobicidade anteriormente perdida e a amostra 13 perdeu a hidrofobicidade com relação ao ciclo anterior no mesmo tanque. Já o tanque 3, vemos que as amostra 9 e 12 passaram da classificação HC5 para HC4, porém ainda mantendo-se hidrofílicas.

No sétimo e último ciclo, observa-se nos tanques 2 e 3, os piores resultados para o fabricante C, com três amostras no tanque 2 obtendo a classificação HC6. O tanque 3 apresentou também resultado similar, com 3 amostras com a classificação HC5.

As amostras 8, 9 e 13 no tanque 2 obtiveram a pior classificação, isto é HC6 – hidrofílica. Para o tanque 3, as mesmas amostras também não apresentaram resultados satisfatórios, mas ficaram com as classificações HC4 e HC5. As amostras 10, 11 e 12 também tiveram um desempenho ruim ao final do sétimo ciclo no tanque 2, chegando a classificação HC5. Se compararmos com o tanque 3, apenas as amostras 10 e 11, alcançaram a classificação HC4, porém ainda hidrofílicas. A amostra 12 obteve a classificação HC5.

4.2.3.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante C nos Tanques 2 e 3.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios de envelhecimento acelerado nos para-raios poliméricos de distribuição referente ao fabricante C, novamente observa-se que a região Nordeste (Tanque 2), apresentou ao longo dos ciclos de envelhecimento acelerado, uma maior degradação do polímero, mostrando no sétimo ciclo que 100% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos, com 50% das amostras obtendo a classificação HC6, os outros 50% apresentaram-se na classificação HC5. Na região Sudeste (Tanque 3), também tivemos 100% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos, porém 50% apresentaram-se na classificação HC4 e os outros 50% apresentaram-se na classificação HC5.

4.2.4 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante D nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.

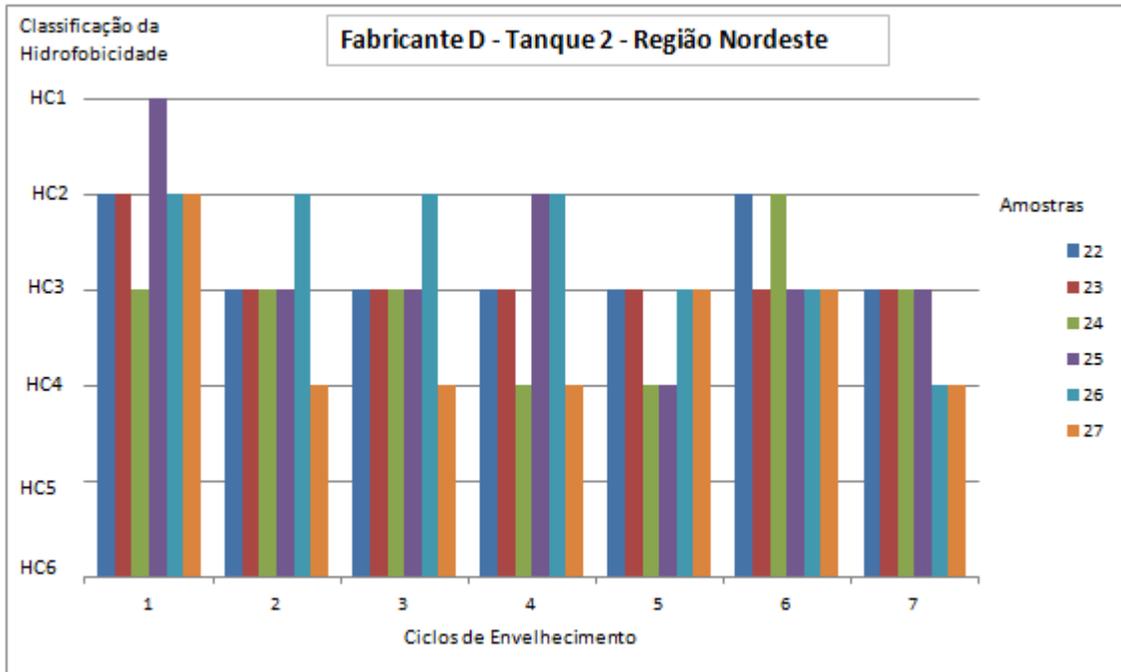


Gráfico 4.7 - Hidrofobicidade Fabricante D Tanque 2 Região Nordeste

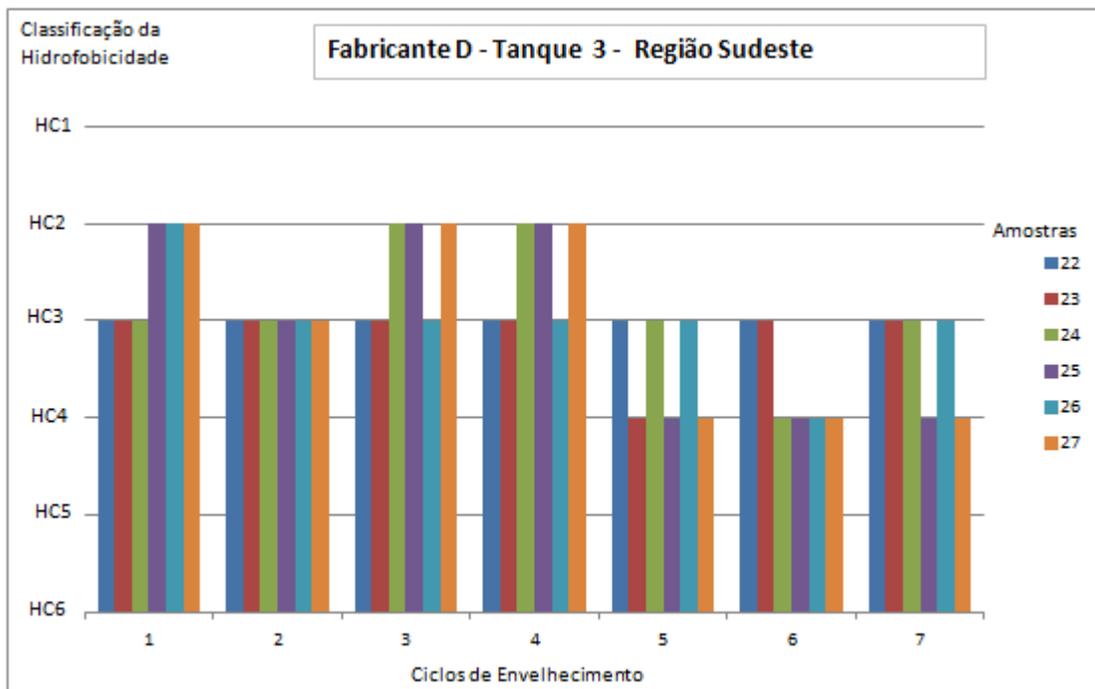


Gráfico 4.8 - Hidrofobicidade Fabricante D Tanque 3 Região Sudeste

Analisando os sete ciclos de envelhecimento acelerado para o fabricante D, observa-se que apenas a amostra 25 do tanque 2, conseguiu a classificação máxima, isto é, HC1 no primeiro ciclo.

No primeiro ciclo, as amostras 22 e 23 começaram com a classificação HC2 no tanque 2 e HC3 no tanque 3. A amostra 24 obteve a mesma classificação para os dois tanques ficando HC3. Já a amostra 25, a única a obter a classificação HC1 no tanque 2, no tanque 3 ficou em HC2. As amostras 26 e 27 tiveram a mesma classificação nos dois tanque, ou seja, HC3.

No segundo ciclo, as amostra 22, 23, 24 e 25, alcançaram a mesma classificação para os dois tanques, chegando a HC3. Analisando o tanque 2 as amostras 22 e 23 tiveram uma perda de hidrofobicidade em relação ao ciclo anterior. O que não ocorreu no tanque 3, pois as amostras se mantiveram em HC3. A amostra 24 em relação ao ciclo anterior nos dois tanques obteve a mesma classificação, HC3. Já amostra 25 do tanque 2, teve uma sensível perda de hidrofobicidade se comparada ao ciclo anterior, ficando com a classificação HC3, porém ainda manteve-se hidrofóbica. A amostra 26 no tanque 2 manteve a mesma classificação do ciclo anterior, HC2. Porém no tanque 3, teve uma perda de hidrofobicidade se comparada ao ciclo anterior, passando para a classificação HC3. Para a amostra 27, tivemos uma grande perda de hidrofobicidade neste ciclo, chegando a classificação HC4, neste caso passando a ser hidrofílica. O mesmo ocorreu no tanque 3, mas neste caso mesmo perdendo hidrofobicidade, ainda conseguiu permanecer hidrofóbica com a classificação HC3.

Para o terceiro ciclo, as amostras 22 e 23, tiveram a mesma classificação do ciclo anterior nos dois tanques, ou seja, HC3, mantendo-se hidrofóbicas. As amostras 24 e 25 no tanque 2 obtiveram a mesma classificação do ciclo anterior, HC3, porém no tanque 3, houve um ganho de hidrofobicidade, passando a HC2. Já a amostra 26 teve o mesmo desempenho dos ciclos anteriores nos dois tanques, ou seja, tanque 2 HC2 e tanque 3 HC3. Para a amostra 27, tivemos comportamentos totalmente diferentes para os dois tanques, no tanque 2 obteve a mesma classificação do ciclo anterior, mantendo-se hidrofílica com a

classificação HC4. No tanque 3 a amostra apresentou uma sensível recuperação da hidrofobicidade, passando a classificação HC2.

No quarto ciclo, as mostras 22 e 23, mantiveram a mesma classificação desde o segundo ciclo para os dois tanques, mantendo-se em HC3. Já amostra 24 no tanque 2, apresentou uma perda de hidrofobicidade, passando de HC3 dos ciclos anteriores, para HC4, assim ficando hidrofílica. Isto não ocorreu no tanque 3, onde a amostra manteve a classificação do ciclo anterior em HC2. A amostra 25 apresentou um melhor desempenho neste ciclo comparado ao anterior, ficando com a classificação HC2, no tanque 2. Para o tanque 3, a amostra 25 manteve a classificação anterior ficando também em HC2. Com relação à amostra 26, observa-se o mesmo desempenho do ciclo anterior nos dois tanques, ficando no tanque 2 com a classificação HC2, e no tanque 3, HC3. A amostra 27 também teve o mesmo desempenho do ciclo anterior nos dois tanques, porém neste caso ficou com a classificação HC4 no tanque 2, ou seja, hidrofílica e HC2 no tanque 3 - hidrofóbica.

No quinto ciclo, a amostra 22 manteve a mesma classificação do ciclo anterior para os dois tanques, ficando em HC3. Já a amostra 23, manteve a mesma classificação do ciclo anterior no tanque 2 ficando em HC3, porém para o tanque 3, tivemos uma perda de hidrofobicidade nesta amostra, que passou de HC3 dos ciclos anteriores, para HC4 neste ciclo, ficando assim hidrofílica. A amostra 24 teve o mesmo comportamento do ciclo anterior no tanque 2, ou seja, permaneceu hidrofílica na classificação HC4. No tanque 3 também houve uma perda de hidrofobicidade, porém a amostra ainda manteve-se hidrofóbica com a classificação HC3. Para a amostra 25 observa-se um fato interessante, pois nos dois tanques, tivemos o mesmo resultado com a sensível perda de hidrofobicidade dessa amostra, que passou de uma classificação HC2, - hidrofóbica, para HC4 - hidrofílica. O comportamento da amostra 26 apresentou-se diferente nos dois tanques, pois no tanque 2 passou da classificação HC2 para HC3, mantendo-se ainda hidrofóbica, porém no tanque 3 manteve a classificação dos ciclos anteriores, ficando em HC3. Já a amostra 27 teve um comportamento inverso nos dois tanques, enquanto que no tanque 2 recuperou a hidrofobicidade em relação ao ciclo anterior passando a HC3, no tanque 3 houve uma perda significativa de hidrofobicidade, atingindo a classificação HC4, neste caso passando a ser hidrofílica.

O sexto ciclo, apresentou para amostra 22, uma recuperação da hidrofobicidade, passando para a classificação HC2 no tanque 2, porém no tanque 3, manteve a mesma classificação dos ciclos anteriores, ficando em HC3. Já amostra 23, manteve-se estável no tanque 2 com a classificação HC3 e para o tanque 3, observa-se uma recuperação da hidrofobicidade, passando da classificação HC4 para HC3, tornando-se novamente hidrofóbica. A amostra 24 no tanque 2 apresentou uma boa recuperação da hidrofobicidade, deixando de ser hidrofílica e passando a ser hidrofóbica com a classificação HC2. O contrário aconteceu no tanque 3, onde percebe-se uma perda de hidrofobicidade da amostra, ficando com a classificação HC4, ou seja, passando a ser hidrofílica. As amostras 25, 26 e 27 no tanque 2, tiveram o mesmo resultado ficando com a classificação HC3, ao contrário do tanque 3 onde as mesmas amostras obtiveram a classificação HC4, ou seja, hidrofílicas.

No sétimo e último de ciclo do fabricante D, as amostras 22, 23, 24 e 25, conseguiram a mesma classificação nos dois tanques ficando em HC3- hidrofóbicas, exceto a amostra 25 que no tanque 2, ficou com a classificação HC4, passando neste caso a ser hidrofílica. Já amostra 26 obteve um desempenho melhor no tanque 3 com a classificação HC3, mantendo-se hidrofóbica, ao contrário do tanque 2 onde sua classificação foi HC4, ou seja, hidrofílica. Para a amostra 27, verifica-se uma perda de hidrofobicidade no tanque 2, ficando com a classificação final de HC4. Mesmo obtendo resultado semelhante ao ciclo anterior no tanque 3, esta amostra também ficou com a classificação HC4, isto é, regular e hidrofílica.

4.2.4.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante D nos Tanques 2 e 3.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios de envelhecimento acelerado nos paraios poliméricos de distribuição referente ao fabricante D, observa-se que as regiões Nordeste (Tanque 2) e Sudeste (Tanque 3), apresentaram ao final do sétimo ciclo de envelhecimento acelerado, uma degradação uniforme do polímero, mostrando no que

67% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofóbicos com a classificação HC3, e 33% dos para-raios ensaiados apresentaram-se hidrofílicos, com a classificação HC4. Mesmo com um resultado regular para o fabricante D, pode-se observar que houve uma homogeneidade do material ensaiado.

4.2.5 - Análise da Hidrofobicidade para o Fabricante E nos Tanques 2 e 3, representando respectivamente, a Região Nordeste e Sudeste.

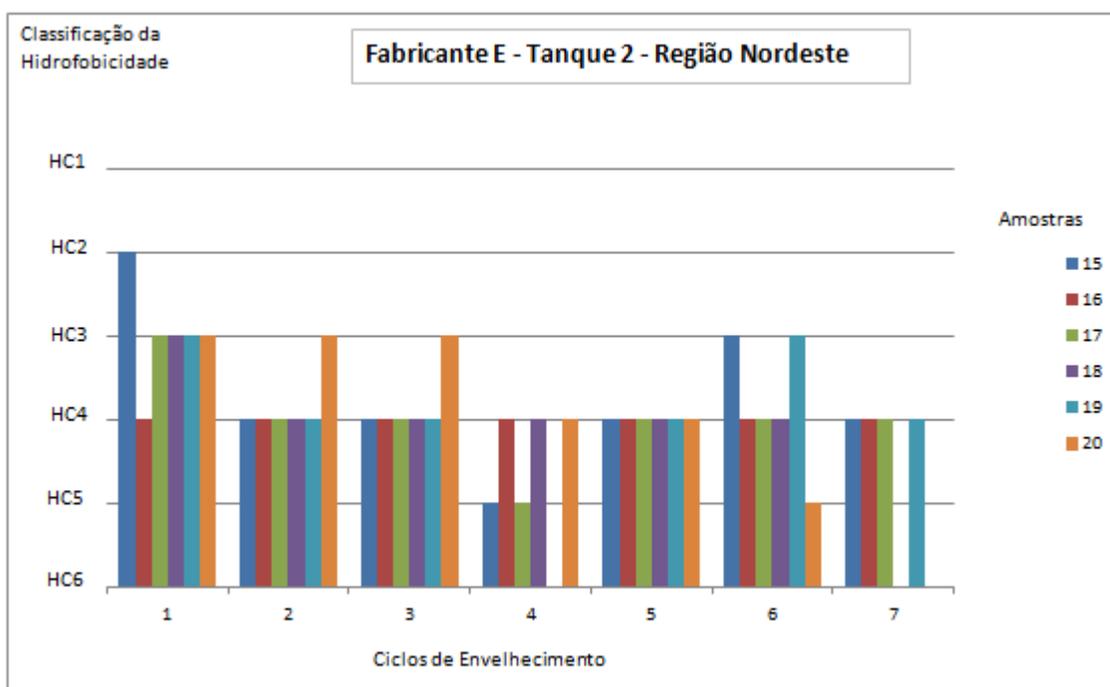


Gráfico 4.9 - Hidrofobicidade Fabricante E Tanque 2 Região Nordeste

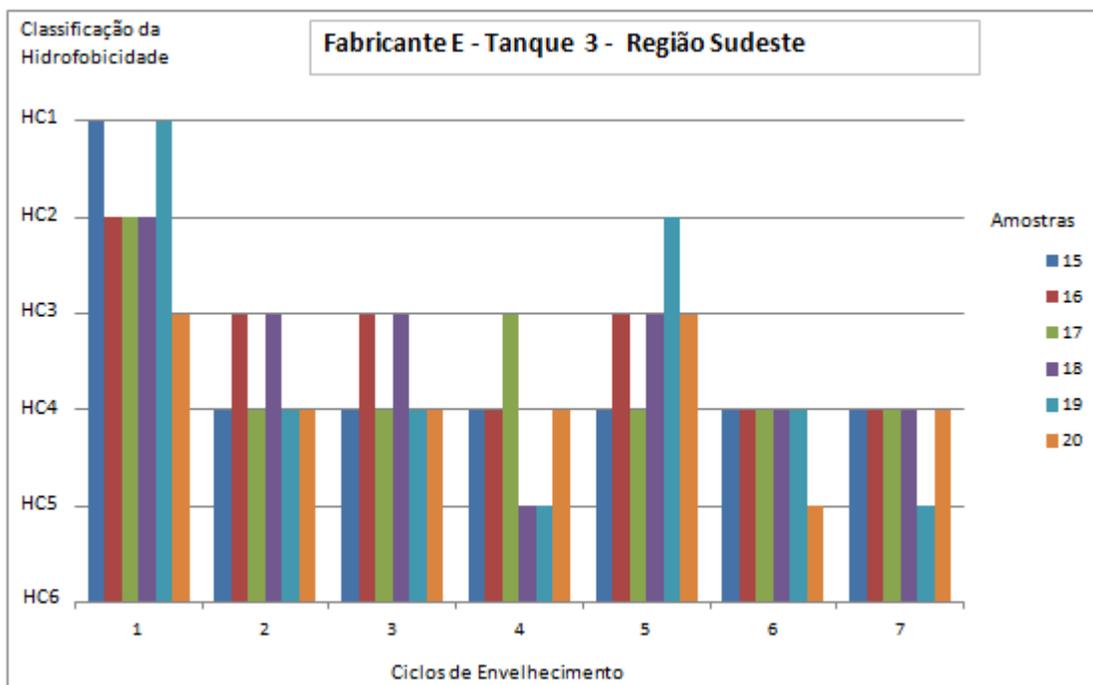


Gráfico 4.10 - Hidrofobicidade Fabricante E Tanque 3 Região Sudeste

O fabricante E apresentou um desempenho insatisfatório entre fabricantes analisados nesta pesquisa, principalmente com relação aos resultados do tanque 2 (Região Nordeste), como veremos a seguir.

No primeiro ciclo, podemos observar que a amostra 15 no tanque 2 obteve a classificação HC2, enquanto que no tanque 3, conseguiu o valor máximo do Guia STRI com a classificação HC1. Já a amostra 16 obteve no tanque 2 a classificação HC4 – hidrofílica, e no tanque 3 conseguiu o índice de HC2. As amostras 17 e 18 conseguiram no tanque 2 a classificação HC3, e para o tanque 3 tiveram a classificação HC2 - hidrofóbica. Na amostra 19, podemos observar uma diferença na classificação, pois no tanque 2 ficou em HC3, e no tanque 3, alcançou o índice máximo, ficando em HC1. A amostra 20 obteve o mesmo desempenho nos dois tanques com a classificação HC3.

Para o segundo ciclo, vê-se que as amostras 15, 17 e 19 obtiveram os mesmos resultados nos dois tanques, com a classificação HC4, ou seja, hidrofílica. Já as amostras 16 e 18 no tanque 2, alcançaram a classificação HC4. Porém para o tanque 3 vemos uma perda de hidrofobicidade, comparado ao ciclo anterior neste tanque, com as amostras conseguindo

uma classificação HC3, contudo, permanecendo hidrofóbicas. A amostra 20 manteve a classificação do ciclo anterior em HC3 no tanque 2, mas no tanque 3, houve perda de hidrofobicidade, passando de HC3 para HC4, isto é, hidrofílica.

No terceiro ciclo, as amostras 15, 17, e 19 tiveram resultados iguais nos dois tanques, permanecendo na classificação HC4. Já as amostras 16 e 18 que no tanque 2 permaneceram em HC4, no tanque 3 conseguiram recuperar a hidrofobicidade ficando com a classificação HC3. A amostra 20 manteve a classificação anterior nos dois tanques, ficando no tanque 2 em HC3 e tanque 3 em HC4.

No quarto ciclo, a amostra 15 e 17 no tanque 2, perderam ainda mais a hidrofobicidade, passando para a classificação HC5, enquanto que no tanque 3, a amostra 15 manteve-se em HC4 e para a amostra 17, vê-se uma recuperação da hidrofobicidade, com a classificação HC3. A amostra 16 manteve-se em HC4 no tanque 2, porém no tanque 3, observamos uma perda de hidrofobicidade, passando a classificação HC4. Já a amostra 18 repetiu o resultado do ciclo anterior com a classificação de HC4, porém no tanque 3, houve uma sensível perda de hidrofobicidade, passando a HC5. A amostra 19 obteve no tanque 2, a pior classificação do Guia STRI, ficando em HC6. No tanque 3, observa-se também uma perda da hidrofobicidade, porém menos acentuada, passando a classificação HC5. Nos dois casos com resultados bastante insatisfatórios. Para a amostra 20, tivemos uma perda de hidrofobicidade no tanque 2, passando da classificação HC3, para HC4. Isto não ocorreu no tanque 3, onde a amostra permaneceu em HC4, conforme ciclo anterior.

Para o quinto ciclo, observa-se que a amostra 15 passa de HC5 no tanque 2 para HC4, mostrando uma pequena recuperação da hidrofobicidade. No tanque 3, esta amostra manteve o mesmo resultado do ciclo anterior, com a classificação em HC4. A amostra 16 do tanque 2 obteve o mesmo resultado dos ciclos anteriores, ficando em HC4. Já no tanque 3, vemos que esta amostra volta a ser hidrofóbica com a classificação HC3. Para a amostra 17, observa-se uma pequena recuperação da hidrofobicidade no tanque 2, ficando com a classificação HC3. Ao contrário no tanque 3, esta amostra apresentou perda de hidrofobicidade, passando a ser hidrofílica com a classificação HC4. O Comportamento

da amostra 18 no tanque 2 ficou igual ao ciclo anterior em HC4, porém no tanque 3, teve uma boa recuperação, passando de HC5 para HC3. A amostra 19 conseguiu sair da pior classificação para HC4 no tanque 2, já no tanque 3, apresentou uma ótima recuperação saindo de HC5 para HC2, ficando hidrofóbica. Já a amostra 20 no tanque 2, repetiu o resultado anterior ficando em HC4, mas no tanque 2, voltou a ser hidrofóbica com a classificação HC3.

No sexto ciclo, observa-se a amostra 15 no tanque 2 recuperando a hidrofobicidade com a classificação HC3, enquanto que no tanque 3, manteve a mesma classificação anterior permanecendo em HC4. Nas amostras 16, 17, e 18 vê-se a mesma classificação em relação aos dois tanques, ficando em HC4. Para a amostra 19 no tanque 2, houve uma recuperação da hidrofobicidade, passando a classificação HC3. Resultado diferente ocorreu no tanque 3, onde a amostra teve uma sensível perda de hidrofobicidade, passando de HC2 para HC4, neste caso voltando a ser hidrofílica. A amostra 20 teve o mesmo comportamento nos dois tanques, ou seja, voltou a ser hidrofílica, com a classificação HC5.

No sétimo e último ciclo de envelhecimento acelerado do fabricante E, pode-se verificar que as amostras 15, 16 e 17 tiveram o mesmo comportamento nos dois tanques, ficando com a classificação de hidrofobicidade em HC4, isto é, hidrofílicas. As amostras 18 e 20 apresentaram a pior classificação do Guia STRI com o índice HC6 – hidrofílicas. Isto não ocorreu no tanque 3, pois apesar de continuarem hidrofílicas, receberam a classificação HC4. Já amostra 19, comportou-se melhor no tanque 2 com a classificação HC4, enquanto que no tanque 3 caiu para HC5. Em ambos os casos, continuaram hidrofílicas.

4.2.5.1 – Comparação do desempenho da Hidrofobicidade para o Fabricante E nos Tanques 2 e 3.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios de envelhecimento acelerado nos paraios poliméricos de distribuição referente ao fabricante E, observa-se que a região Nordeste (Tanque 2) apresentou ao final do sétimo ciclo de envelhecimento acelerado,

uma maior degradação do polímero com 67% dos para-raios ensaiados com a classificação HC4, e 33% dos para-raios ensaiados apresentaram-se a classificação HC6, que é a pior classificação do Guia STRI. Para o tanque 3 verifica-se uma pequena melhora no desempenho dos para-raios, porém continuaram com a classificação também de hidrofílicos, com 83% dos para-raios com o índice HC4, e 17% dos para-raios com o índice HC5.

4.3 – Avaliação Final do Desempenho da Hidrofobicidade entre os Fabricantes Analisados nesta Pesquisa.

Após sete ciclos de envelhecimento acelerado, pode-se verificar que a degradação do invólucro dos para-raios poliméricos de distribuição avaliados nesta pesquisa, foi maior na região Nordeste para os fabricantes, exceto o fabricante D, onde a classificação final de hidrofobicidade foi igual para duas regiões. Pode-se observar que o fabricante C, teve o pior desempenho dentre os fabricantes avaliados, com 50% das amostras obtendo a classificação mais baixa do STRI Guide, ficando em HC6. Assim pode-se concluir que a perda de hidrofobicidade foi maior na região Nordeste do país, onde condições ambientais são mais críticas, principalmente com relação a temperatura máxima.

Capítulo 5 – Resultados dos Ensaio Elétricos em Para-raios de Distribuição

5.1 - Medição da Tensão Residual Inicial e Final

Nas tabelas de 5.1 a 5.4, estão apresentados os valores de medição da tensão residual inicial e final dos para-raios poliméricos, referente aos tanques 2 e 3.

Tabela 5.1 - Medição da Tensão Residual Inicial do Tanque 2

MEDIÇÃO DA TENSÃO RESIDUAL INICIAL TANQUE 2				
Fabricante	Amostra	Carreg. - Vc (kV)	Tensão Res. (kV)	Corrente (KA)
A (10 KV)	1	45,0	31,06	9,84
	2	45,0	30,02	10,24
	3	45,0	30,37	10,04
	4	45,0	30,37	9,76
	5	45,0	30,37	9,76
	6	45,0	30,72	9,76
B (10 KV)	29	45,0	30,37	10,20
	30	45,0	30,37	9,96
	31	45,0	30,37	10,08
	32	45,0	30,72	9,92
	33	45,0	30,72	9,84
	34	45,0	30,72	10,04
C (10 KV)	8	41,5	26,92	10,12
	9	41,5	26,57	10,32
	10	41,5	26,57	10,23
	11	41,5	26,92	10,24
	12	41,5	26,57	10,24
	13	41,5	26,57	10,32
D (12 KV)	22	49,5	34,51	10,36
	23	49,5	34,86	9,92
	24	49,5	34,86	9,96
	25	49,5	33,82	10,72
	26	49,5	33,82	10,56
	27	49,5	33,82	10,60

Cont. Tabela 5.1 - Medição da Tensão Residual Inicial do Tanque 2				
E (10 KV)	15	44,0	30,02	10,00
	16	44,0	30,02	9,88
	17	44,0	29,68	10,00
	18	44,0	29,68	10,12
	19	44,0	29,68	10,04
	20	44,0	29,68	10,12

Tabela 5.2 - Medição da Tensão Residual Inicial do Tanque 3

MEDIÇÃO DA TENSÃO RESIDUAL INICIAL TANQUE 3				
Fabricante	Amostra	Carreg. - Vc (kV)	Tensão Res. (kV)	Corrente (KA)
A (10 KV)	1	45,00	30,72	9,72
	2	45,00	31,41	9,24
	3	45,00	30,72	9,92
	4	45,00	30,72	9,68
	5	45,00	30,72	9,68
	6	45,00	30,37	9,84
B (10 KV)	29	45,00	30,72	10,08
	30	45,00	30,02	10,28
	31	45,00	30,72	9,92
	32	45,00	30,72	10,16
	33	45,00	30,72	10,20
	34	45,00	31,41	9,88
C (10 KV)	8	41,50	26,57	10,40
	9	41,50	26,57	10,24
	10	41,50	26,92	10,32
	11	41,50	26,57	10,24
	12	41,50	26,57	10,32
	13	41,50	28,99	10,24
D (12 KV)	22	49,50	34,51	10,24
	23	49,50	34,17	10,52
	24	49,50	34,17	10,40
	25	49,50	34,17	10,36
	26	49,50	34,86	10,00
	27	49,50	34,86	9,96

Cont. Tabela 5.2 - Medição da Tensão Residual Inicial do Tanque 3

E (10 KV)	15	44,00	30,02	10,08
	16	44,00	30,02	9,88
	17	44,00	30,02	10,00
	18	44,00	30,37	10,00
	19	44,00	30,02	9,96
	20	44,00	29,68	10,04

Tabela 5.3 - Medição da Tensão Residual Final do Tanque 2

MEDIÇÃO DA TENSÃO RESIDUAL FINAL TANQUE 2				
Fabricante	Amostra	Carreg. - Vc (kV)	Tensão Res. (kV)	Corrente (KA)
A (10 KV)	1	45,0	30,37	9,68
	2	45,0	31,06	9,20
	3	45,0	30,37	9,84
	4	45,0	31,06	9,74
	5	45,0	30,37	9,75
	6	45,0	30,37	9,91
B (10 KV)	29	45,0	30,37	10,00
	30	45,0	29,68	10,34
	31	45,0	30,37	9,84
	32	45,0	30,37	10,00
	33	45,0	30,37	10,22
	34	45,0	30,37	9,36
C (10 KV)	8	41,5	26,23	10,40
	9	41,5	26,23	10,18
	10	41,5	26,23	10,16
	11	41,5	26,23	10,22
	12	41,5	26,23	10,16
	13	41,5	26,23	10,18
D (12 KV)	22	49,5	34,51	10,24
	23	49,5	33,82	10,32
	24	49,5	33,82	1,07
	25	49,5	33,82	10,00
	26	49,5	34,51	10,19
	27	49,5	34,51	10,00

Cont. Tabela 5.3 - Medição da Tensão Residual Final do Tanque 2

E (10 KV)	15	44,0	28,99	10,00
	16	44,0	29,68	9,84
	17	44,0	28,99	9,84
	18	44,0	28,99	10,07
	19	44,0	28,99	10,05
	20	44,0	28,99	10,00

Tabela 5.4 - Medição da Tensão Residual Final do Tanque 3

MEDIÇÃO DA TENSÃO RESIDUAL FINAL TANQUE 3				
Fabricante	Amostra	Carreg. - Vc (kV)	Tensão Res. (kV)	Corrente (KA)
A (10 KV)	1	45,0	30,37	9,84
	2	45,0	29,68	10,16
	3	45,0	30,37	10,00
	4	45,0	30,37	9,68
	5	45,0	30,37	9,90
	6	45,0	30,37	9,68
B (10 KV)	29	45,0	29,68	10,16
	30	45,0	30,37	9,84
	31	45,0	30,37	10,06
	32	45,0	30,37	9,84
	33	45,0	30,37	9,68
	34	45,0	30,37	10,00
C (10 KV)	8	41,5	26,92	9,84
	9	41,5	26,23	10,00
	10	41,5	26,23	10,20
	11	41,5	26,23	10,23
	12	41,5	26,23	10,23
	13	41,5	38,20	21,20
D (12 KV)	22	49,5	33,82	10,36
	23	49,5	34,51	9,68
	24	49,5	34,51	9,86
	25	49,5	33,13	10,72
	26	49,5	33,82	10,53
	27	49,5	33,82	10,48

E (10 KV)	15	44,0	28,99	9,84
	16	44,0	28,99	9,84
	17	44,0	28,99	9,84
	18	44,0	28,99	10,00
	19	44,0	28,99	10,07
	20	44,0	30,37	10,00

A amostra 13 do fabricante C foi a única que não suportou o ensaio de tensão residual final, tendo ocorrido a ruptura do invólucro.

5.2 - Medição da Corrente de Fuga

5.2.1 - Sistema de medição de corrente de fuga de para-raios de óxido de zinco

Diversos métodos têm sido propostos na literatura para a determinação da condição de para-raios de óxido de zinco, com o benefício da detecção da degradação prematura do bloco ou ingresso de umidade nos mesmos. Pode-se citar dentre esses métodos a detecção de interferências de rádio-freqüência ou ultra-sônicas, medição de descargas parciais, métodos de termovisão, assim como a medição de corrente de fuga, foco do presente trabalho.

De uma forma simplificada, um bloco de óxido de zinco (ZnO) pode ser representado eletricamente pelo circuito equivalente mostrado na figura 5.1, que representa um resistor não linear em paralelo com um capacitor linear. A tensão aplicada faz fluir uma corrente que é denominada corrente de fuga total.

Tal corrente, conforme o modelo apresentado é a combinação de duas componentes distintas: a componente resistiva, que flui pelo elemento não linear e cujo componente fundamental é responsável pelas perdas Watt e a componente capacitiva, que flui pelo elemento capacitivo, tendo sob condições normais de operação um efeito predominante na composição da corrente total.

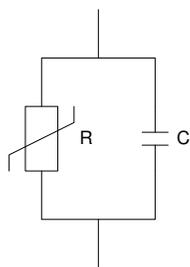


Figura 5.1 – Modelo simplificado de um para-raio de ZnO

A medição de corrente de fuga foi realizada antes do início do primeiro ciclo e após o término de cada ciclo de envelhecimento acelerado. Para fins de comparação e análise dos resultados, é mostrado a seguir nas tabelas 5.1 e 5.2, os valores de corrente de fuga inicial e final dos tanques 2 e 3.

Tabela 5.5 - Medição de Corrente de Fuga Tanque 2

Medição da Corrente de Fuga Tanque 2			
Fabricante	Amostra	I fuga Inicial (μA)	I fuga Final (μA)
A	1	484	390
	2	509	380
	3	453	410
	4	454	390
	5	460	400
	6	465	400
B	29	469	390
	30	479	400
	31	474	390
	32	474	390
	33	472	390
	34	478	390
C	8	564	980
	9	562	460
	10	565	460
	11	560	460
	12	564	560
	13	569	450
D	22	532	440
	23	540	450
	24	506	530
	25	529	440
	26	533	450
	27	510	450

Continuação Tabela 5.5 - Medição da Corrente de Fuga Tanque 2			
E	15	586	470
	16	572	480
	17	586	480
	18	595	470
	19	592	480
	20	594	480

No tanque 2, a amostra 8 do fabricante B apresentou um valor discrepante de corrente de fuga, o que é um forte indicativo de estágio avançado de degradação da amostra. O restante das amostras apresentaram valores de corrente de fuga, aparentemente normais para o tempo de envelhecimento que foram expostas, [22].

Tabela 5.6 Medição de Corrente de Fuga Tanque 3

Medição da Corrente de Fuga Tanque 3			
Fabricante	Amostra	I fuga Inicial (μA)	I fuga Final (μA)
A	1	456	350
	2	439	370
	3	460	350
	4	426	350
	5	432	350
	6	435	350
B	29	433	350
	30	436	350
	31	435	350
	32	434	350
	33	430	340
	34	432	350
C	8	544	420
	9	D.P.	420
	10	535	420
	11	539	420
	12	543	420
	13	544	-
D	22	609	-
	23	612	-
	24	584	-
	25	602	-
	26	612	-
	27	574	-

Continuação da Tabela 5.6 Medição de Corrente de Fuga Tanque 3

E	15	600	420
	16	598	430
	17	606	440
	18	593	440
	19	609	440
	20	608	450

No tanque 3 a amostra 9 do fabricante C, apresentou na medição inicial de corrente de fuga, descargas parciais, o que impediu que a medição fosse realizada. Por outro lado a amostra 13 do mesmo fabricante entrou em avalanche térmica na medição final de corrente de fuga.

Para o fabricante D observa-se que todas as amostras entraram em avalanche térmica ao final do sétimo ciclo, medição final de corrente de fuga impossibilitando a operação dos para-raios.

Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações

As informações relativas às condições climáticas das áreas sob concessão do grupo Energisa, foram de extrema importância para embasar a tomada de decisão na definição de critérios técnicos para a execução do experimento de operação dos para-raios em regime permanente sob clima simulado, pois como pode-se observar, os resultados de hidrofobicidade, independente do projeto construtivo dos para-raios, foram mais críticos para a região Nordeste.

A metodologia de ensaio de STRI Guide foi importante para a classificação da hidrofobicidade dos compostos de borracha de silicone dos diferentes fabricantes de para-raios avaliados nesta pesquisa.

A metodologia de avaliação das hidrofobicidades de compostos de borracha de silicone realizados após o ensaio de envelhecimento acelerado (Hp e Hr) mostrou-se eficiente para qualificar a hidrofobicidade destes materiais sob diferentes situações de solicitações. Através da análise da hidrofobicidade, verificou-se que a capacidade de recuperação da hidrofobicidade perdida, varia significativamente de fabricante para fabricante. Provavelmente, esta variação pode estar relacionada às diferentes formulações dos compostos de borracha de silicone usadas na fabricação de para-raios de distribuição. Assim, recomenda-se que os compostos de borracha de silicone sejam qualificados quanto à classificação de hidrofobicidade e que a mesma seja utilizada no projeto construtivo dos para-raios.

Com os resultados obtidos de hidrofobicidade após sete ciclos de envelhecimento acelerado (sete anos), e os resultados de medição da tensão residual dos para-raios, foi observado que apesar da perda de hidrofobicidade em todos os para-raios dos fabricantes analisados nesta pesquisa, a maioria das amostras continuam operacionais, pois dos trinta para-raios ensaiados, apenas um falhou sob o critério de tensão residual. Isso fornece um indício, que a perda de hidrofobicidade está diretamente ligada à degradação do invólucro.

Com relação a corrente de fuga, sete para-raios entraram em avalanche térmica, mostrando que estes não tinham condições de operar em campo.

Outro fato, é que o aumento da corrente de fuga observado em algumas amostras ao longo dos ciclos de envelhecimento acelerado, nos leva a acreditar, que estes para-raios quando instalados em campo, poderiam falhar a qualquer momento, antes do fim de sua vida útil.

Mesmo considerando os esforços desta pesquisa, ainda não foi possível fazer uma ligação direta entre a perda de hidrofobicidade e o aumento ou variação da corrente de fuga dos para-raios. Este comportamento não foi uniforme para amostras de um mesmo fabricante, algumas amostras tiveram um aumento da corrente, outras reduziram o valor comparado ao inicial e outras ficaram com valor constante.

É importante a continuação deste trabalho com maior número de critérios, o que irá demandar um maior tempo para a realização de ensaios complementares, a fim de verificar se há uma ligação da corrente de fuga com a perda de hidrofobicidade. Outro ponto é a verificação do comportamento da tensão residual ao longo de um período maior de envelhecimento acelerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sakshaug, E.C.; “A Brief History of AC Surge Arresters”, IEEE Power Energy Review, Agosto 1991.
- [2] De Franco, J. L.; “Curso sobre Pára-raios – Aplicação em Redes de Distribuição, Subestações e Linhas de Transmissão”, Capítulo 4, Agosto 2008;
- [3] Martinez, M. L. B.; “Pára-raios para Sistemas de Média Tensão – Características Técnicas e Aplicação a Sistemas de Potência”, Dissertação de Mestrado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, Dezembro 1992.
- [4] Hinrichsen, V.; “Designs of Station-Class Polymer Housed Surge Arresters”, CIGRÉ Surge Arresters Tutorial, Rio de Janeiro, April 2005.
- [5] Lahti, K.; “Effects of Internal Moisture on the Durability and Electrical Behaviour of Polymer Housed Metal Oxide Surge Arresters”, 162 f., Tese de doutorado, Universidade de Tecnologia e Tampere, 2003;
- [6] Kannus, K.; Lahti, K.; Nousiainen, K.; “Aspects of the Performance of Metal Oxide Surge Arrester in Different Environmental Conditions”, CIGRÉ, Conference Publication N°. 438, 2-Junho, 1997.
- [7] Lahti, K.; “Performance of MV Arresters under Tropical Conditions”, Tampere University of Technology, Finland.
- [8] IEC Standard 60099-4 (2006)[1], “Metal- Oxide Surge Arresters without Gaps for AC Systems”, Edition 2.2, 2009.
- [9] Portal ELAT- Grupo de Eletricidade Atmosférica.
<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ocorrencia.na.terra.php>.
Acesso em: 09/07/2012.
- [10] Energisa Minas Gerais. <http://www.energisa.com.br/minasgerais>. Acesso em: 09/07/2012.
- [11] Energisa Nova Friburgo. <http://www.energisa.com.br/NovaFriburgo>. Acesso em: 09/07/2012.
- [12] Energisa Paraíba. <http://www.energisa.com.br/paraiba>. Acesso em: 09/07/2012.
- [13] Energisa Sergipe. <http://www.energisa.com.br/sergipe>. Acesso em: 09/07/2012.
- [14] BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.
<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa>. Acesso em: 09/07/2012.
- [15] ONS - Mapa de densidade de descargas atmosféricas. Período de apuração: 1998-2009. Operador Nacional do Sistema (ONS). Emissão em 16 de fevereiro de 2011.

- [16] Rigozo, N. R., Nordemann, D. J. R. Iterative regression analysis of periodicities in geophysical record time series. In: Rev. Bras. Geof. vol.16 n.2-3 São Paulo July/Nov. 1998.
- [17] Daniele Thomazini - Classificação da Hidrofobicidade em Isoladores Elétricos Poliméricos de Alta Tensão, Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2009.
- [18] Basic Compounding and Processing of Rubber, edited by Harry Long, 1997.
- [19] Guide 1, 92/1, Hydrophobicity Classification Guide, STRI.
- [20] IEC/TS 61245 - Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on d.c. systems.
- [21] DL/T 810-2002 - Technical Specification for ± 500 kV D.C. Long Rod Composite Insulators, released on 2002-04-27 and enforced on 2002-09-01.
- [22] IEEE – PAS 100 - Power Apparatus and Systems – Agosto/1981