

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

"MODELO DOS TRENS DA LINHA NORTE-SUL
DO METRÔ DE SÃO PAULO"

T. de M.

de M.

05/82

POR : Luiz Otávio Saraiva Ferreira
ORIENTADOR: Prof.Dr. Clésio Luiz Tozzi.

Tese de mestrado apresentada à Fa
culdade de Engenharia de Campinas
da Universidade Estadual de Campi
nas.

FEVEREIRO/1982

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

À minha sobrinha Marina.

"Conhecemos apenas
MODELOS
da Realidade Pura"

Luiz Otávio S. Ferreira

Agradecimento

Agradeço ao Eng^o. Ortiz, do Metrô de São Paulo, sem cuja colaboração não teria sido possível a realização deste trabalho.

Resumo

Esta Tese de Mestrado trata da concepção de um Modelo dos trens do Metrô de São Paulo, destinado a fazer parte de um Simulador de Operação dos Trens do Metrô de São Paulo.

ÍNDICE

Cap. I - Apresentação do Trabalho.....	1
1.1. Motivação do Trabalho.....	2
1.2. Objetivos do Modelo.....	2
1.3. Metodologia.....	2
1.3.1. Requisitos do Usuário.....	3
1.3.2. Objetivos do Software - Especificações Externas	3
1.3.3. Arquitetura do Sistema - Modularização.....	3
1.3.4. Descrição dos Algoritmos dos Módulos.....	3
1.3.5. Tradução dos Algoritmos para a Linguagem de Com putador.....	4
1.3.6. Testes.....	4
Cap. II - Descrição dos Trens da Linha Norte-Sul do Metrô de São Paulo.....	5
2.1. Introdução	6
2.2. Descrição Geral do Trem.....	6
2.3. Descrição de uma Unidade Dupla	7
2.4. O Sistema Elétrico.....	7
2.5. O Sistema Pneumático.....	7
2.5.1. Compressores.....	7
2.5.2. Reservatório de ar.....	10
2.5.3. Válvulas.....	10
2.5.4. Tubulações	11
2.5.5. Equipamentos acionados a ar comprimido.....	11
2.6. O Sistema de Portas.....	11
2.7. O Sistema de Freios.....	13
2.7.1. A Unidade Operante Pneumática (UOP).....	13
2.7.2. A Unidade Operante Eletrônica (A.13w).....	14
2.7.3. A Válvula Magnética (Decelerostato).....	14
2.7.4. A Tubulação de Freio.....	14
2.7.5. Cilindro, Alicates e Disco de Freio.....	15

2.8. O Console do Operador.....	15
2.8.1. Comando Principal.....	17
2.8.1.1. Alavanca de Comandos.....	17
2.8.1.2. Alavanca Reversora	18
2.8.1.3. Alavanca de Modos.....	18
2.8.2. Portas	18
2.8.2.1. Botoneiras de Portas	18
2.8.2.2. Chave de Portas Derivar.....	19
2.8.2.3. Indicador de Portas Fechadas.....	19
2.8.3. Iluminação.....	19
2.8.4. Anunciador.....	19
2.8.5. Indicador de Velocidade Limite.....	21
2.8.6. Manômetro.....	21
2.8.6.1. Botão de Recarregamento de Freio.....	21
2.8.7. Botão de Teste de Partida no Pátio.....	21
2.8.8. Módulo de Identificação.....	21
2.8.9. Módulo do Rádio.....	21
2.8.10. Auxiliares.....	22
2.9. O Quadro.....	22
2.10. O Armário Elétrico.....	23
2.11. O Sistema ATO.....	24
2.11.1. O Equipamento Speed Maintaining.....	24
2.11.2. O Indicador de Velocidade Limite (IVL).....	25
2.11.3. A Parada Programada	25
2.12. O Dispositivo Supervisor de Freios	25
2.12.1. Botão Teste - DSF.....	26
2.12.2. Botão Rearme - DSF.....	26
2.12.3. Alarme do DSF	26
2.12.4. Anunciadores do DSF	27
2.12. Diferença entre Carros Tipo A e B.....	28
Cap. III - Apresentação do Simulador de Operação dos Trens do Metrô de São Paulo e Modelamento do Funcionamento Normal do Trem.....	30

3.1.	Introdução	31
3.2.	Descrição Geral do Simulador de Operação de Trens do Metrô de São Paulo.....	31
3.3.	Situação do "Modelo" dentro do "Simulador".....	34
3.4.	Considerações Preliminares sobre o Modelo.....	34
3.5.	Modelamento da Ativação dos Sistemas do Trem.....	42
3.5.1.	ATO: Modo Automático.....	42
3.5.2.	MCS: Modo Semiautomático.....	43
3.5.3.	Modo Manual.....	43
3.5.4.	Anunciador.....	44
3.5.5.	Tração do Módulo-1.....	44
3.5.6.	Freio do Módulo-1.....	45
3.5.7.	Compressor do Módulo-1.....	45
3.5.8.	Tração do Módulo-2.....	46
3.5.9.	Freio do Módulo-2.....	46
3.5.10.	Compressor do Módulo-2.....	47
3.6.	Ativação da Falha "Tração Anormal".....	47
3.7.	Modelamento do Operador de Trem Automático (ATO)..	48
3.8.	Cálculo da Pressão Desejada nos Cilindros de Freio	54
3.9.	Modelamento do DSF	56
3.9.1.	Sobrevelocidade	57
3.9.2.	Teste do DSF	58
3.9.3.	Rearme do DSF	59
3.9.4.	Freio Falha Aplicação e Freio Falha Remoção...	62
3.9.5.	Acionamento dos Anunciadores no Console.....	64
3.10.	Modelamento do Sistema de Portas da Direita.....	66
3.11.	Modelamento do Sistema de Portas da Esquerda.....	72
3.12.	Acionamento dos Compressores.....	73
3.13.	Carregamento da Tubulação de Freios.....	75
3.14.	Carregamento do Reservatório de Freios.....	77
3.15.	Carregamento dos Cilindros de Freio.....	78
3.16.	Outras Funções do Sistema Pneumático	80
3.17.	Cálculo do Movimento do Trem.....	82
3.17.1.	Cálculo da Aceleração do Trem.....	83
3.17.2.	Cálculo da Velocidade do Trem.....	85

3.17.3. Cálculo do Deslocamento de Trem.....	85
3.18. Rotina de Temporização de Eventos.....	86
Cap. IV - Modelamento das Falhas do Trem.....	88
4.1. Introdução	89
4.2. Modelamento das Falhas do Sistema de Freio	89
4.2.1. Falha "Disjuntor de Caixa Lógica Desarmado"..	91
4.2.2. Falha "Freio Falha Remoção - Isolação Elétrica"	91
4.2.3. Falha "Freio Falha Remoção - Isolação Pneumã tica".....	91
4.2.4. Falha no "Train-Line" P e BRK.....	92
4.2.5. Falha nos Geradores P e BRK.....	92
4.2.6. Falha no "Train-Line" BRK.....	93
4.2.7. Falha no Gerador de BRK.....	93
4.2.8. Falha no TCR.....	94
4.2.9. Falha "Portas Abertas nos carros 2 a 5".....	94
4.2.10. Falha no Gerador P e no Train Line P.....	95
4.2.11. Falha "Disjuntor de DSF do carro Líder Desar- mado".....	96
4.2.12. Falha "Disjuntor de DSF desarmado nas unida- des 2 ou 3".....	96
4.2.13. Falha "Disjuntor de Freio do Carro Líder De- sarmado".....	97
4.2.14. Falha "DSF" sempre aplicado.....	98
4.2.15. Falha "Alavanca de Comando Posicionada no Se- gundo Carro".....	99
4.3. Modelamento das Falhas do Sistema Pneumático.....	99
4.3.1. Falha "Fusível de Acoplamento Queimado".....	99
4.3.2. Falha "Fusível de Acoplamento Queimado no 6º Carro.....	100
4.3.3. Falha "Disjuntor de Bateria do Primeiro Car- ro Desarmado".....	101
4.3.4. Falha "Disjuntor de Bateria dos Carros 3 a 5 Desarmado".....	101
4.3.5. Falha "Disjuntor de Tração do 1º carro desar- mado ".....	102

4.3.6. Falha "Disjuntor de Tração do 2º carro Desarmado".....	103
4.3.7. Vazamentos Não Localizados.....	104
Cap. V - Conclusões.....	106
Bibliografia.....	110
Anexo I	111
Anexo II.....	113

Capítulo I

"APRESENTAÇÃO DO TRABALHO"

Esta Tese de Mestrado trata do modelamento dos trens da linha Norte-Sul do Metrô de São Paulo. O Modelo simula o funcionamento de um trem real, sob ponto de vista de um Operador de Trem na cabine de comandos de uma composição metroviária.

1.1. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

O treinamento de Operadores de Trem do Metrô de São Paulo é feito, atualmente, nos próprios trens, no horário de 0:00hs à 06:00 hs, competindo com o horário de manutenção do Metrô. Isso implica em elevados gastos de operação; gasto de dispendiosos materiais importados; e todos os prejuízos devidos à provocação de falhas simuladas nas composições normais.

Torna-se desejável a existência de um Simulador de Operação de Trens do Metrô de São Paulo onde, à feição dos Simuladores de Vôo, se ofereça treinamento básico aos condutores do veículo em questão.

1.2. OBJETIVOS DO MODELO

O que se pretende do Modelo dos Trens do Metrô de São Paulo é que ofereça reações aos comandos do Operador similares à fornecidas pelos instrumentos da cabine de comando de um Trem do Metrô. O Modelo não deve incluir geração de ruídos, sensação de movimento ou de aceleração, mas somente a sinalização correspondente às luzes e relógios da cabine de comando do Trem.

1.3. METODOLOGIA

A Metodologia adotada para a geração do Modelo dos Trens do Metrô de São Paulo baseou-se no Método "Top-Down" de de composição de problemas.

Na aplicação deste Método ao problema de "software", a Engenharia de "Software" distingue as seguintes fases:

1. Requisitos do Usuário

2. Objetivos do Software-Especificações Externas.
3. Arquitetura do Sistema-Modularização.
4. Descrição dos Algoritmos dos Módulos.
5. Tradução dos Algoritmos para a linguagem de computador.
6. Testes.

1.3.1. Requisitos do Usuário

O usuário (Metrô de São Paulo) no período de agosto de 1979 a janeiro de 1981 definiu os requisitos desejados.

1.3.2. Objetivos do Software - Especificações Externas

Nesta fase foram especificados os sinais no sentido Ca bine do Trem - Modelo e Modelo-Cabine do Trem, bem como as respec tivas funções de transferência ou funções de transição de esta dos correspondentes.

1.3.3. Arquitetura do Sistema-Modularização

O Modelo foi dividido segundo os grupos de funções a fins que compõem os Trens do Metrô, quais sejam:

- . Acionamento de Sistemas.
- . Controle Automático (ATC/ATO).
- . Dispositivos Supervisor de Freios (DSF).
- . Sistema de Freios.
- . Sistema de Portas da Direita.
- . Sistema de Portas da Esquerda.
- . Sistema Pneumático.
- . Aceleração, Velocidade e Posição do Trem.
- . Controle dos Eventos em Tempo-Real.

1.3.4. Descrição dos Algoritmos dos Módulos

As funções de cada Módulo foram descritas em uma pseu

do-linguagem tipo ALGOL, resultando em uma forma estruturada apropriada à tradução para a linguagem de computador escolhida (FORTRAN-F10).

1.3.5. Tradução dos Algoritmos para a Linguagem de Computador

A linguagem FORTRAN foi escolhida por seus predicados de portabilidade e popularidade. A tradução dos algoritmos em pseudo-linguagem tipo ALGOL para FORTRAN resultou em um código de boa clareza e de fácil manutenção.

1.3.6. Testes

Os testes foram feitos com o auxílio do utilitário - FORDDT, do DEC-PDP-10. Realizou-se viagens de trem simuladas, onde o FORDDT possibilitou que a cabine do trem fosse substituída por um terminal teleimpressor LA-30 conectado ao PDP-10.

Utilizou-se um contador em software para simular o Relógio de Tempo-Real.

A sequência desta fase de depuração dos algoritmos seria sua tradução para uma linguagem de médio nível* desenvolvida para o INTEL-8086, quando então se processaria uma otimização do código dos programas. Esta fase não chegou a ser concretizada devido aos atrasos na obtenção dos insumos de software e hardware necessários.

* Tese de Mestrado de Angelina A.A.C.P. de Oliveira na Automação FEC-UNICAMP.

Capítulo II

"DESCRIÇÃO DOS TRENS DA LINHA
NORTE-SUL DO METRÔ DE SÃO PAULO"

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo descreverá brevemente as partes componentes de um trem do Metrô de São Paulo.

O objetivo deste capítulo é situar o leitor no problema a ser resolvido, especialmente no que tange ao que deve constar no Modelo dos Trens do Metrô de São Paulo.

O sistema foi dividido segundo as partes funcionais distintas que o compõem, a fim de proporcionar uma exposição estruturada, clara e breve.

2.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TREM

Os trens do Metrô de São Paulo são compostos de até seis vagões. Para fins de simulação assumiremos uma configuração fixa de seis vagões.

Os vagões são agrupados dois a dois, sendo um tipo A e um tipo B, o que constitui uma Unidade Dupla.

Cada vagão possui uma Cabine de Comando, podendo o trem ser conduzido de qualquer vagão. Normalmente se conduz do vagão da frente ou, em emergência, do último.

Os equipamentos se dividem em dois grandes grupos:

- . Equipamentos Operacionais : São aqueles que podem ser manipulados pelo operador, e portanto interessam no treinamento de operador de trem.
- . Equipamentos Não Operacionais: São aqueles que não podem ser manipulados pelo operador, mas são pelo pessoal de manutenção. Não interessam no treinamento do operador de trem, e por isto não constarão do "modelo".

2.3. DESCRIÇÃO DE UMA UNIDADE DUPLA

Uma Unidade Dupla é formada por um vagão tipo A e um vagão tipo B. Cada vagão tem 21,750 m de comprimento; 3,563 m de altura e 3,170 m de largura. Possui ainda quatro motores DC de 150 HP, alimentados pela tensão de 750 VDC fornecida por um terceiro trilho.

A aceleração máxima é de $1,12 \text{ m/seg}^2$; a deceleração máxima é de $1,2 \text{ m/seg}^2$; e a deceleração de emergência é de $1,5 \text{ m/seg}^2$. O trem pode atingir uma velocidade máxima de 100 Km/h. Cada vagão comporta até 333 passageiros, e possui oito portas de saída, sendo quatro portas de cada lado. Cada porta, por sua vez, é composta de duas folhas que correm sobre trilhos.

2.4. O SISTEMA ELÉTRICO

O Sistema Elétrico de cada vagão é constituído de duas partes: uma de alta tensão e uma de baixa tensão, cujos diagramas constam das Figuras 2.1 e 2.2, respectivamente.

2.5. O SISTEMA PNEUMÁTICO

O Sistema Pneumático pode ser dividido nas cinco seguintes partes:

- . Compressores.
- . Reservatórios de ar.
- . Válvulas.
- . Tubulações.
- . Equipamentos acionados a ar comprimido.

2.5.1. Compressores

Cada unidade dupla possui um compressor localizado no carro B, que deve manter a pressão no reservatório principal entre 130 e 150 psi. Um trem possui, pois, três compressores.

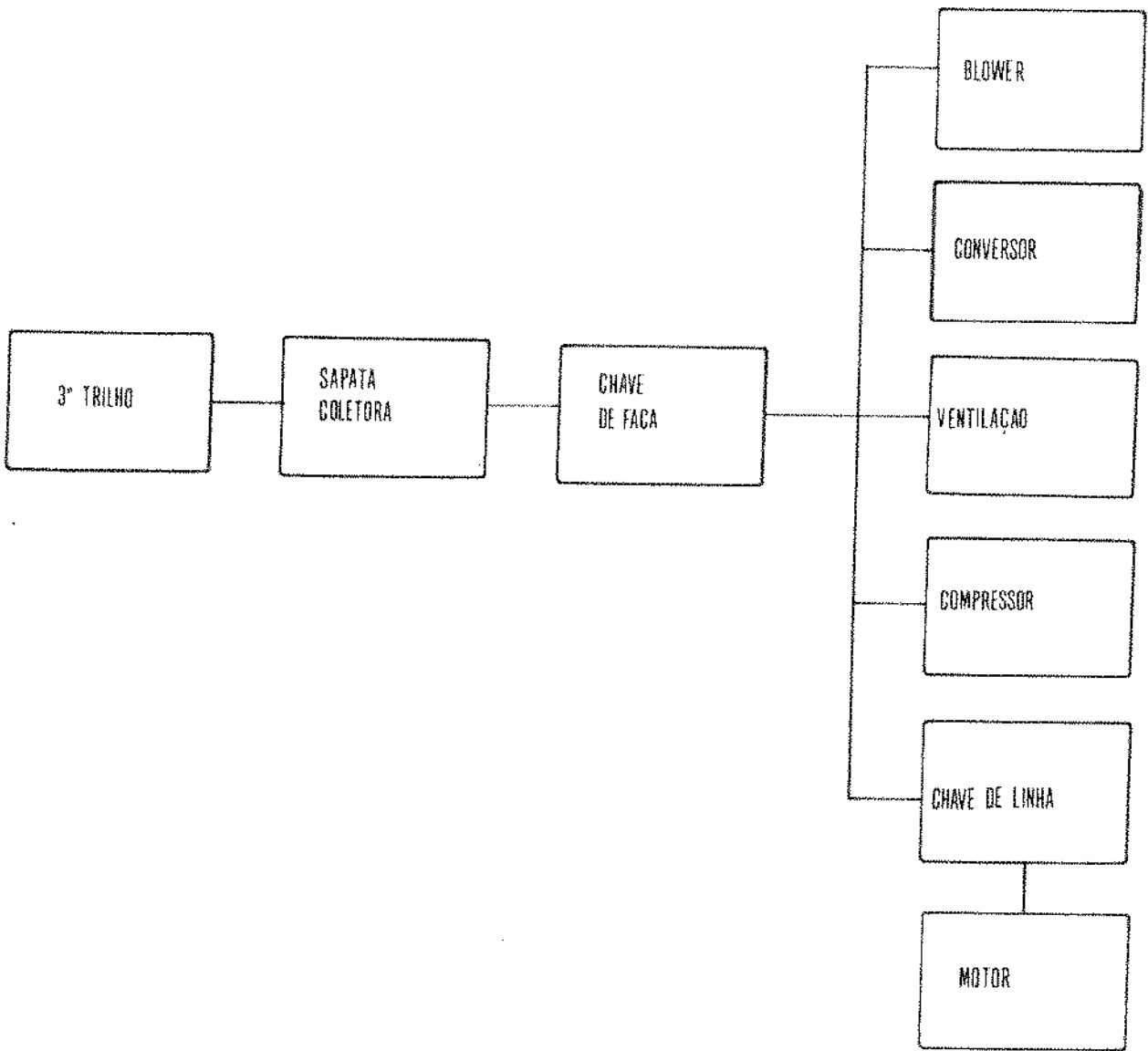


FIG. 2.1 - Sistema Elétrico do Trem.
Parte de Alta Tensão.

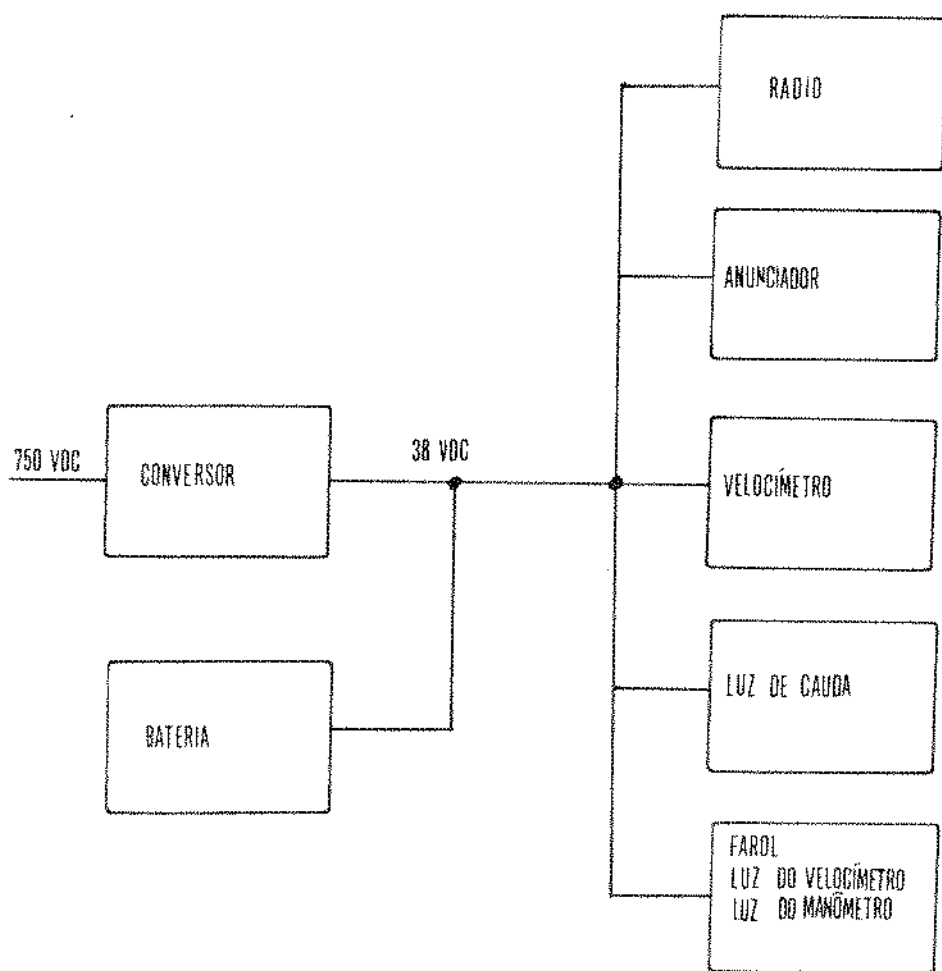


FIG. 2.2 - Sistema Elétrico do Trem.
Parte de Baixa Tensão.

2.5.2. Reservatórios de ar

Cada carro possui três reservatórios de ar, que são:

- . Reservatório de portas.
- . Reservatório de freios.
- . Reservatório principal.

O ar comprimido é acumulado no reservatório principal e daí distribuído para os reservatórios de freio e de portas.

2.5.3. Válvulas

Pode ser que devido a uma avaria, ou para efeito de manutenção, alguns equipamentos do sistema pneumático devam ser isolados para que o trem possa continuar em operação, ou para que possa ser feito reparo nesse equipamento. Para essa finalidade existem as válvulas do sistema pneumático, que são assim chamadas:

- . Válvula 1 - válvula de isolamento da tubulação principal entre carros. Um par por carro.
- . Válvula 2 - válvula de isolamento da tubulação de freio entre carros. Um par por carro.
- . Válvula 3 - válvula de abertura externa de porta.
- . Válvula 4 - válvula de isolamento de bolsa de ar.
- . Válvula 5 - válvula de isolamento da Unidade Operante Pneumática (UOP).
- . Válvula 5a - válvula de isolamento da tubulação de freio na UOP.
- . Válvula 6 - válvula de isolamento dos cilindros de freio
- . Válvula 7 - válvula de isolamento dos reservatórios de freio.
- . Válvula 8 - válvula de isolamento do freio de serviço.
- . Válvula 9 - válvula de isolamento do sistema de portas.

Somente as válvulas tipo 1,2,5,5a e 6 entrarão no modelo do trem, por serem as restantes de manipulação restrita ao pessoal de manutenção. Só interessam para o simulador os dispositivos operacionais, ou seja, aqueles que o operador de trem tem autorização para acionar.

2.5.4. Tubulações

As tubulações conduzem o ar dos reservatórios até os dispositivos pneumáticos. Temos três tubulações:

- . Tubulação principal: conduz o ar dos compressores para os reservatórios e para a tubulação auxiliar.
- . Tubulação de freio : percorre todo o trem, e serve para a aplicação de emergência simultaneamente em todos os carros.
- . Tubulação auxiliar : leva ar da tubulação principal para os equipamentos auxiliares.

2.5.5. Equipamentos acionados a ar comprimido

São os seguintes os equipamentos acionados a ar comprimido:

- . sistema de freios.
- . sistema de portas.
- . suspensão.
- . desengate.
- . buzina.
- . areeiro.
- . chave de linha.
- . limpador de parabrisa.

2.6. O SISTEMA DE PORTAS

Cada carro possui oito portas, quatro de cada lado, sendo cada porta constituída de duas folhas que correm sobre trilhos. Cada folha de porta possui seu próprio motor de porta, acionado

a ar comprimido. O circuito de um motor de porta é constituído de:

- . válvula de isolamento pneumático.
- . interruptor de isolamento elétrico.
- . válvula eletro-pneumática.
- . motor de porta.

A válvula de isolamento pneumático, quando acionada, torna a folha de porta inoperante. O interruptor de isolamento elétrico tem a finalidade de isolar a folha de porta e liberar o intertravamento portas-tração (a tração só se torna operante se todas as folhas de porta do trem estiverem fechadas).

Podemos controlar as portas do trem de dentro ou de fora da cabine de comando. Dentro da cabine os seguintes controles são disponíveis:

- . Chave de portas derivar: inibe o intertravamento portas-tração.
- . Botoneira de portas: quatro botões, dois do lado direito e dois do lado esquerdo do console. Abrem e fecham as portas do respectivo lado.
- . Sinalização de portas fechadas no anunciador: é uma lâmpada de cor verde, situada no anunciador do console, e se acende quando as portas do trem estão fechadas.

Fora da cabine temos:

- . Chave de abertura externa de portas: também chamada chave de serviço. Abre ou fecha as duas primeiras portas do respectivo lado mais próximas à cabine.
- . Chave de abertura interna de portas: tem a mesma função da anterior, porém situada no interior do carro.

Alças de abertura de portas: existem dois tipos de alça de abertura de portas:

- . Alças de emergência: localizam-se no interior do trem ao lado das portas. Quando acionadas cortam a tração

do trem e acionam a emergência, além de abrirem as portas.

- . Alças de abertura externa: por serem equipamento não operacional não entrarão no Modelo. Realizam as mesmas funções que as alças de emergência. (Vide item 2.2)

Botão Geral de Comando de Portas (BGCP) isola eletricamente todas as folhas de portas de um carro, ao passo que a chave de portas derivar faz o mesmo para todo o trem.

Alarme automático de portas: alerta os usuários de que as portas estão prestes a fechar.

Após ser dado o comando de fechar portas o alarme soa por aproximadamente três segundos, após o que as portas se fecham. Deve ser ressaltado que o atraso de três segundos no fechamento é independente do funcionamento do alarme.

2.7. O SISTEMA DE FREIOS

É baseado em freios eletrodinâmico e mecânico. Para fins de simulação só interessa a ação de frenagem como um todo e os mecanismos de freio mecânico.

O freio mecânico é constituído de freios a disco acionados eletropneumaticamente. O sistema de freios a disco é formado por:

- . Unidade Operante Pneumática (UOP).
- . Unidade Operante Eletrônica (A13W).
- . Válvula Magnética (Decelerostato).
- . Tubulação de Freio.
- . Cilindro, alicata e disco de freio.

2.7.1. A Unidade Operante Pneumática (UOP)

A Unidade Operante Pneumática é o atuador que recebe os sinais de controle elétricos ou pneumáticos e regula a pressão nos cilindros de freio. É responsável pela aplicação de freio de

serviço; freio de emergência de primeiro nível comandado pelo DSF (Dispositivo Supervisor de Freios); e freio de emergência.

O freio de serviço é o freio de intensidade variável, usado nas manobras normais do trem. Os sinais de comando gerados na unidade líder, são distribuídos para todo o trem através de um conjunto de vias elétricas e pneumáticas que percorrem todos os vagões: o "train line".

Para cada carro vazio temos um freio mínimo de 5 psi e um máximo de 35 psi. Estes valores típicos serão os usados no Modelo.

O freio de emergência não depende de circuitos elétricos. É comandado pela tubulação de freio, e quando acionado, as UOP (Unidades Operantes Pneumáticas) aplicam 45 psi nos cilindros de freio.

2.7.2. A Unidade Operante Eletrônica (A 13W)

Aciona e controla a aplicação do freio de serviço através da UOP, e protege o trem contra derrapagens, aliviando o freio caso as rodas travem.

2.7.3. A Válvula Magnética (Decelerostato)

Tem a função de cortar a entrada e abrir a saída de ar dos cilindros de freio automaticamente toda vez que os freios são aliviados.

2.7.4. A Tubulação de Freio

Percorre o trem de ponta a ponta, através do "train line". Tem a função de garantir a aplicação simultânea do freio de emergência em todos os carros da composição. Se a pressão da tubulação de freio cair abaixo de 90 psi haverá aplicação de freio de emergência por parte de todas as UOPs.

O comando de freio e aceleração é feito através dos sinais BRK e P, respectivamente, que são gerados pela alavanca de comando ou pelo Operador Automático de Trem (ATO). Os sinais P e BRK circulam por todo o trem através do "train line". Um eventual mal contato no "train line" interrompe a circulação destes sinais e isto faz com que o trem não alivie freios, pois o sinal BRK é por nível de corrente - 0mA significa aplicar freios e 100mA significa aliviar freios. Para contornar isto existe o botão de derivação dos sinais P e BRK. Este botão curto circuita a parte do "train line" defeituosa, fechando o circuito do "train line" nas unidades restantes entre o ponto defeituoso e a cabine de comando (Vide Figura 2.3).

2.7.5. Cilindro, Alicata e Disco de Freio

São componentes normais de sistemas de freio a disco, não apresentando quaisquer características especiais. O único dado de interesse para o Modelo é a taxa de enchimento e esvaziamento dos cilindros de freio, em psi/seg.

Dos gráficos obtidos a partir de medições registradas em operação normal do trem temos:

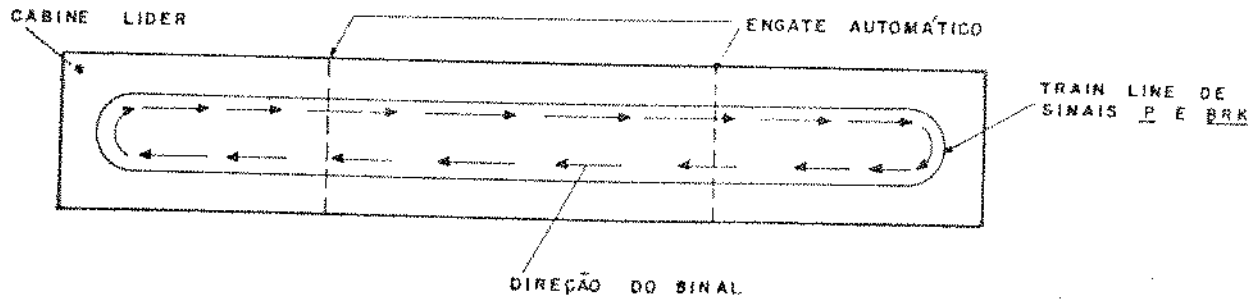
- . Taxa de enchimento dos cilindros: 40 psi/seg.
- . Taxa de esvaziamento dos cilindros: 20 psi/seg.

Estas taxas foram obtidas a partir de linearização das curvas reais do trem.

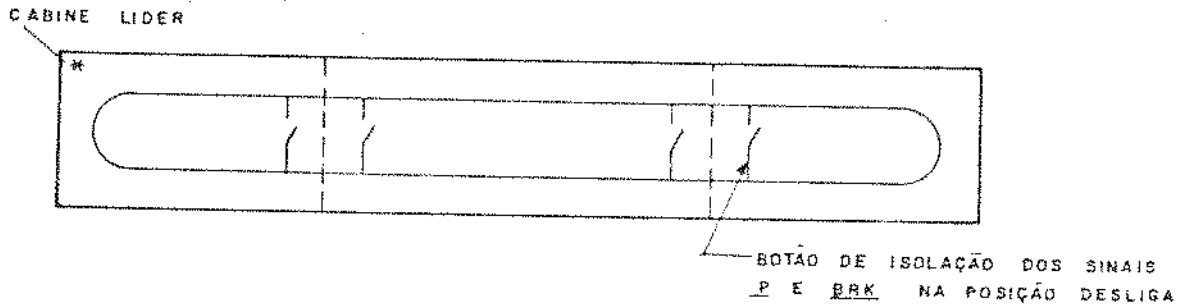
2.8. O CONSOLE DO OPERADOR

O console está localizado na cabine de comando, e é por onde o operador comanda e monitora a operação do trem. Contém dois tipos de equipamentos: os equipamentos de comando, que são aqueles através dos quais o operador comanda o trem; e os equipamentos de monitoração, que são aqueles que oferecem ao operador indicações do estado de equipamentos ou sistemas do trem.

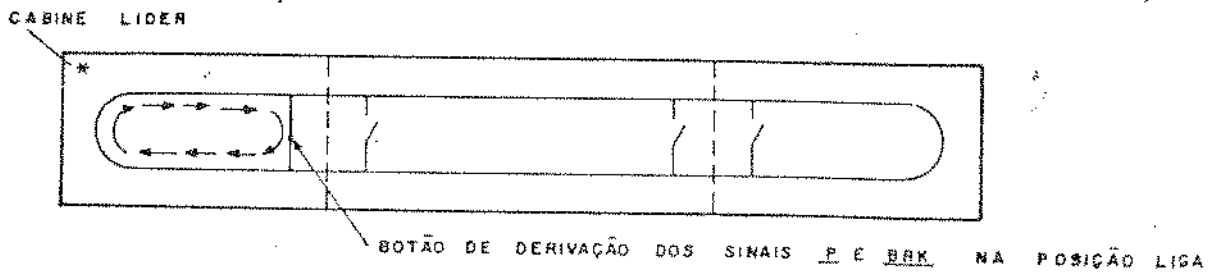
Os equipamentos do console podem ser divididos em dez



a) Train-Line conduzindo.



b) Train-line interrompido (não conduz)



c) Trecho defeituoso curto-circuitado pelo botão de derivação de P e BRK.

FIG. 2.3 - Isolação do Train-Line pelo botão de P e BRK.

grupos:

- . Comando Principal.
- . Portas.
- . Iluminação.
- . Anunciador.
- . Indicador de Velocidade Limite (IVL).
- . Manômetro.
- . Chave de Teste de Partida no Pátio.
- . Módulo de Identificação.
- . Módulo do Rádio.
- . Auxiliares.

2.8.1. Comando Principal

Do Comando Principal fazem parte os seguintes equipamentos:

- . Alavanca de Comando.
- . Alavanca Reversora.
- . Alavanca de Modos.

2.8.1.1. Alavanca de Comandos

É uma alavanca em forma de "L", que possibilita ao operador dar comandos de aceleração e frenagem. Tem um punho móvel, com uma posição estável por mola, que deve ser mantido na posição estável durante a operação automática. Caso a alavanca de comando esteja entre Máximo Freio de Serviço e Aceleração Máxima, deve-se manter o punho na posição instável, sob pena do trem entrar em Emergência (freio de emergência).

A posição estável denomina-se posição de "Homem Morto". Se o trem estiver operando em manual ou semiautomático, quando então a aceleração e frenagem é comandada pelo operador através da alavanca de comando, e por algum motivo o operador largar a alavanca de comando, o punho da alavanca vai para a posição estável ou "Homem Morto", fazendo o trem entrar em emergência, e parar, pois nesse caso o trem estaria se movimentando sem controle algum.

A haste da alavanca de comando possui cinco posições estáveis:

- . Freio de Emergência.
- . Máximo Freio de Serviço (MFS).
- . Freio Mínimo de Serviço (FMS).
- . Aceleração Mínima (AM).
- . Máxima Aceleração (MA).

2.8.1.2. Alavanca Reversora

Determina qual o sentido de movimento do trem. Tem três posições: frente, neutro e ré. Quando posicionada em frente ou ré numa cabine, determina que desta cabine é que se poderá comandar o trem.

2.8.1.3. Alavanca de Modos

Possui três posições, e é através dela que o operador determina o modo de operação do trem, que pode ser:

- . Modo Automático.
- . Modo Semiautomático.
- . Modo Manual.

Foram acrescentados recentemente aos carros do Metrô os modos semiautomático e manual redundantes. A passagem para estes modos é feita através do Botão de Redundância, concomitantemente com o posicionamento normal da alavanca de modos.

2.8.2. Portas

Deste grupo fazem parte os seguintes equipamentos:

- . Botoneiras de Portas.
- . Chave de Portas Derivar.
- . Indicador de Portas Fechadas.

2.8.2.1. Botoneiras de Portas

Existem quatro botões de porta, sendo dois do lado es

querdo do console e dois do lado direito. O conjunto de botões do lado direito abrem (botão verde) e fecham (botão vermelho) as portas do lado direito. Os botões do lado esquerdo abrem (botão verde) e fecham (botão vermelho) as portas do lado esquerdo.

2.8.2.2. Chave de Portas Derivar

Tem duas posições: ligada e desligada. Quando ligada e limina o intertravamento portas-tração, fazendo com que o trem possa trafegar de portas abertas.

2.8.2.3. Indicador de Portas Fechadas

Está localizado no painel de anunciadores. Quando aceso indica que todas as portas do trem estão fechadas.

2.8.3. Iluminação

Consta do botão do farol, do botão de iluminação do trem, e do botão da luz da cabine de comando. Apesar de serem equipamentos operacionais, não entrarão no Modelo, por serem irrelevantes para o treinamento do operador no simulador.

2.8.4. Anunciador

Indica ao operador a situação de certos equipamentos ou sistemas do trem. É composto dos seguintes elementos:

- . Botão de Lâmpada Teste: é um botão que quando pressionado faz acenderem-se todas as lâmpadas do anunciador, a fim de se verificar se há alguma queimada.
- . Indicador de Portas Fechadas: lâmpada verde que nos diz, quando acesa, que todas as portas do trem estão fechadas.
- . Indicador do Freio Falha Remoção: quando aceso indica que ocorreu falha na remoção dos freios, ficando o trem impossibilitado de dar a partida.
- . Indicador de Freio de Estacionamento Aplicado: quan

- do aceso indica que o freio de estacionamento está a cionado. Não entrará no Modelo, pois não constará do Simulador, por ser irrelevante para o treinamento do operador na solução de falhas de operação do trem.
- . Indicador de Tração Isolada: quando aceso indica que o sistema de tração de um ou mais carros está isola do.
 - . Indicador de Tração Anormal: indica a ocorrência de algum problema elétrico no sistema de tração.
 - . Indicador de Freio Falha Aplicação: indica falha na aplicação dos freios. Se após seis segundos da requisição de aplicação dos freios a pressão nos cilindros de freio não atingir 30 psi, o indicador acenderá.
 - . Indicador de Ato Anormal: indica, quando aceso, a falha DSF sempre aplicado, ou seja, a falha no sistema DSF.
 - . Indicador de Conversor Anormal: acende-se quando ocorrer falha nos conversores de tensão (convertem 750VDC em 38 VDC) .
 - . Indicador de Freio de Segurança Aplicado: acende-se quando ocorre aplicação de freio de emergência de Primeiro Nível, ou seja, são aplicados 45 psi nos cilindros de freio sem esvaziamento da tubulação de freios.
 - . Indicador de Operação Manual: Acende-se quando há vazamento na tubulação de freio do primeiro carro ou cai o disjuntor de DSF de carro não líder. Indica que se deve operar em Manual.
 - . Indicador de Velocidade ATC Redução (ATC = Automatic Train Control): quando aceso indica que o trem deve trafegar com velocidade reduzida, por motivo de falha nos sistemas de freio.

2.8.5. Indicador de Velocidade Limite

São duas fileiras de lâmpadas que indicam a velocidade máxima que o trem pode desenvolver no trecho de via em que se encontra (fileira de cima) e a aplicação automática de freio por motivo de excesso de velocidade (sobrevelocidade), quando se acendem as lâmpadas da fileira de baixo.

2.8.6. Manômetro

Contém duas agulhas:

- . Agulha Branca: indica a pressão na tubulação de freio.
- . Agulha Vermelha: indica a pressão nos cilindros de freio.

2.8.6.1. Botão de Recarregamento de Freio

Através deste botão o operador pode recarregar a tubulação de freio do trem, quando ela esvazia por algum motivo.

2.8.7. Botão de Teste de Partida no Pátio

Rearma a chave de linha (chave de linha = contactor que protege circuito dos motores), caso esta tenha sido desarmada por algum curto-circuito no sistema elétrico.

2.8.8. Módulo de Identificação

É um display numérico, que exibe os códigos de composição, destino da viagem e número de unidades da composição, dados esses intercambiados com o CCO (Comando Central de Operações), via rádio. Não constará do Modelo, por não fazer parte do treinamento na solução de falhas do trem no simulador este diálogo com o CCO.

2.8.9. Módulo do Rádio

Contém o rádio de comunicação com o CCO e o interfone

de comunicação com os passageiros. Não entrará no Modelo, por ser uma parte exclusivamente autônoma, e de pequena influência operacional.

2.8.10. Auxiliares

- . Botão da buzina.
- . Válvula da buzina.
- . Botão do Limpador de Parabrisa.
- . Velocímetro.
- . Botão de Propulsão-Teste, ou Botão de Partida no Páteo.
- . Botão de Desengate.
- . Bola Vermelha: aplica freio de emergência quando acionada.

2.9. O QUADRO

O quadro é um painel que está localizado dentro da cabine do operador, atrás do banco, na parte superior direita. Alojados os disjuntores, fusíveis, e o Botão Geral de Comando de Portas - (BGCP).

São os seguintes os disjuntores:

- . Disjuntor de Bateria.
- . Disjuntor da luz principal.
- . Disjuntor da luz de emergência.
- . Disjuntor do Farol.
- . Disjuntor de Tração.
- . Disjuntor de Comunicação.
- . Disjuntor do Anunciador.
- . Disjuntor de Controle do Areeiro.
- . Disjuntor de Ventilação.
- . Disjuntor de Freio.
- . Disjuntor do ATP/ATO. (carro A).

São os seguintes os Fusíveis:

- . Fusível da Buzina.
- . Fusível da Luz de Cauda.

- . Fusível Auxiliar de Desacoplamento.
- . Fusível de Acoplamento.
- . Fusível de Velocidade Zero.

Botão Geral de Comando de Portas (BGCP): quando aciona do as portas não obedecem ao comando das botoneiras de portas, e a sinalização externa de portas não funciona (isto para o carro onde o botão for acionado).

2.10. O ARMÁRIO ELÉTRICO

O Armário Elétrico aloja disjuntores, relês, a caixa de lógica, os botões do compressor, o equipamento de rádio, a caixa repetidora, e o motor de porta. Interessa ao Modelo apenas a parte operacional, ou seja, os disjuntores e os botões do compressor, por serem importantes no treinamento da solução de falhas de equipamentos na operação do trem.

Disjuntores:

- . Disjuntor CCS: liga o conversor. Só existe no carro A.
- . Disjuntor DYN: liga os circuitos do freio dinâmico de cada carro.
- . Disjuntor CCO: liga a propulsão do carro.
- . Disjuntor da Caixa Lógica: liga os circuitos da caixa lógica.

Botões do compressor: são dois botões, um preto e um vermelho, do tipo campainha. O preto liga e o vermelho desliga o compressor da unidade.

Caixa de Lógica: é onde está localizado o Dispositivo Supervisor de Freios (DSF), responsável pela aplicação de freio de emergência de primeiro nível nos casos de excesso de velocidade ou frenagem insuficiente e pela função de sinalizar ao operador as falhas do sistema de freios.

2.11. O SISTEMA ATO

O Sistema ATO está instalado nos carros A da composição. É o responsável pela operação automática dos trens. A cada 150 m da via o Comando Central de Operações do Metrô (CCO) designa um Código de Velocidade (CDV), que é a velocidade na qual o trem deve trafegar naquele trecho. O ATO recebe o CDV via rádio e aciona os freios ou a tração, de modo a fazer o trem trafegar na velocidade comandada via CDV.

No armário elétrico dos carros A existe o disjuntor ATP/ATO, que deve estar ligado para que se possa operar nos modos semiautomático e automático.

As funções controladas e monitoradas pelo ATO são:

- No modo automático:

- . Manutenção de velocidade.
- . Proteção contra sobrevelocidade.
- . Parada programada.
- . Identificação do trem.
- . Abertura e Fechamento de Portas.
- . Teste de Partida no Pátio.

- No modo semiautomático:

- . Proteção Contra Sobrevelocidade.
- . Identificação do Trem.

- No modo manual:

- . Identificação do Trem.

No modo automático praticamente não é necessário a presença do operador. No modo semiautomático o operador deve controlar a velocidade, parar no lugar certo e abrir e fechar as portas.

2.11.1. O Equipamento Speed Maintaining

Visa manter a diferença entre a velocidade limite e a

velocidade atual do trem menor que 6 Km/h. Quando a velocidade real é maior que a comandada, são aplicados os freios até que a velocidade real seja igual à velocidade comandada menos seis Km/h. Quando a velocidade está abaixo do limite comandado e os freios não estão aplicados, é aplicada aceleração.

Sempre que houver sobrevelocidade haverá sinalização no IVL.

2.11.2. O Indicador de Velocidade Limite (IVL)

O IVL é um conjunto composto de duas fileiras de lâmpadas dispostas horizontalmente. A fileira superior contém lâmpadas com as inscrições: 0; 10; 30; 44; 62; 75; 87; 100; que são os códigos de velocidade possíveis recebidos da Via. Se acenderá aquele código correspondente à velocidade comandada.

A fileira inferior é formada por oito lâmpadas de cor vermelha, sem inscrições. Se acenderá quando o trem estiver freando por motivo de sobrevelocidade ou quando o trem estiver parado e pronto para operar em MCS/ATO (Semiautomático/Automático).

2.11.3. A Parada Programada

O sistema de Parada Programada tem por função fazer o trem parar, abrir as portas, esperar vinte segundos, tocar a cigarra de portas por tres segundos e então fechar as portas, partindo logo que o operador pressione o botão de carregamento dos compressores.

A parada deve ser feita no ponto pré-estabelecido (cinco metros antes do fim da estação, no "Modelo"), com uma precisão razoável (dois metros no caso do Modelo), e deve começar em outro ponto, também padronizado (55 m antes do ponto de parada, no caso do Modelo).

2.12. O DISPOSITIVO SUPERVISOR DE FREIOS

Para evitar que o trem saia dos padrões de segurança no

caso de taxa de frenagem insuficiente é que foi criado o DSF. Nestas ocasiões o DSF envia um comando às UOPs (Unidades Operantes Pneumáticas), solicitando a aplicação de Emergência de Primeiro Nível (freio a 45 psi sem esvaziar a tubulação de freio).

A outra função do DSF é sinalizar, para o operador, as falhas do sistema de freio ou do próprio DSF. No console do operador temos botões, lâmpadas e alarmes do DSF, que descreveremos a seguir:

2.12.1. Botão Teste-DSF

Este botão executa duas funções:

- . Atuação manual do DSF: toda vez que este botão for acionado haverá aplicação de emergência de primeiro nível em toda a composição.
- . Avaliação de falhas no Sistema de Freios: quando pressionado, este botão também provocará uma verificação do estado do sistema de freios e do próprio DSF.

O botão de teste do DSF deverá ser mantido pressionado por aproximadamente 10 segundos. Quatro segundos após pressionado haverá aplicação da emergência de primeiro nível, e a cigarra do DSF soará, até que o botão seja liberado.

2.12.2. Botão Rearme-DSF

Os anunciadores do DSF uma vez acesos não se apagam, mesmo que a falha já tenha sido sanada. O botão Rearme-DSF será usado para apagar a sinalização de falhas já sanadas.

2.12.3. Alarme do DSF

Atua durante o teste do DSF, conforme já descrito, e quando há atuação insuficiente do DSF. Ocorre atuação insuficiente do DSF quando a taxa de frenagem é insuficiente e o DSF não consegue normalizá-la. O alarme só silenciará quando a taxa de

frenagem se normalizar ou for retirada a sobrevelocidade.

2.12.4. Anunciadores do DSF

- . Anunciador de Freio Falha Remoção: se o trem começa a acelerar, e num prazo de seis segundos não ocorrer a exaustão completa de todos os cilindros de freio, significa que ocorreu uma falha na remoção dos freios. Então o anunciador de Freio Falha Remoção acenderá.
- . Anunciador de Freio Falha Aplicação: se seis segundos após o trem ter parado a pressão nos cilindros de freio não ultrapassar 30 psi, então o anunciador de freio falha aplicação acenderá.
- . Anunciador de Freio de Segurança Aplicado: ao contrário dos outros, não tem memória. Só acende quando há aplicação de emergência de primeiro nível comandada pelo DSF.
- . Anunciador de Velocidade ATC Redução: quando aceso indica que o trem deve operar com restrição de velocidade para se manter dentro dos padrões de segurança. Se acende quando cai o disjuntor de DSF do carro B. A restrição de velocidade é determinada pela posição do Botão de Redução Percentual, que faz com que a Velocidade Limite (velocidade máxima) com que o trem opera seja de 100% do CDV, ou 86% do CDV, ou 71% do CDV. O DSF (Dispositivo Supervisor de Freios) é quem aciona o anunciador de velocidade ATC redução automaticamente, e cabe ao operador acionar o Botão de Redução Percentual.
- . Anunciador de Operação Manual: se acenderá quando houver vazamento na tubulação de freio do primeiro carro, ou problemas no fusível de acoplamento ou no disjuntor de DSF do segundo carro.

No quadro de disjuntores de todos os carros tem-se três botões giratórios:

- . Botão de comprimento: indica se a composição é de 1,2, ou 3 unidades duplas. No modelo será assumido sempre 3 unidades, que é a situação normal de operação.
- . Botão de Isolação Total: isola a atuação das caixas do DSF, e o trem opera sem este importante mecanismo de segurança. Para compensar, o trem opera com apenas 86% da velocidade comandada.
- . Botão de redução Percentual: sua função é reduzir a velocidade do trem em relação à velocidade comandada. Suas posições são: 100%; 86%; e 71%.

O disjuntor de DSF existe apenas nos carros B. Liga os dispositivos do DSF referentes à unidade dupla. Outros equipamentos também existem apenas em carros tipo A ou tipo B.

2.13. DIFERENÇA ENTRE CARROS TIPO A E B

Existe uma pequena diferença entre os armários elétricos dos carros tipos A e B. Nos carros B existem:

- . Lâmpada de freio aplicado: acende quando há ar nos cilindros de freio.
- . Botão de Isolação Local: isola a caixa de DSF daquela unidade dupla.
- . Chave de Isolação do Freio: isola o freio de serviço da unidade dupla. Na posição E isola a A13W e não atuará mais o freio de serviço neste carro. Na posição P teremos o isolamento da UOP, não funcionando o freio de serviço e a emergência de primeiro nível.

Externamente aos carros existem, em ambos os lados, três lâmpadas de sinalização, que diferem dos carros A para os carros B. Temos:

- . Carros A: lâmpada de porta aberta - vermelha.

Carros A: lâmpada de falha no conversor - amarela.
lâmpada de freio falha remoção - azul.

Carros B: lâmpada de porta aberta - vermelha.
lâmpada de DSF sempre aplicado - verde.
lâmpada de freio falha remoção - azul.

Assim terminamos uma rápida descrição dos trens do Metrô de São Paulo. O próximo passo será a descrição da implementação do Modelo dos Trens do Metrô de São Paulo, visando-se adequá-lo às necessidades e limitações do Simulador de Operação dos Trens do Metrô de São Paulo.

Capítulo III

"APRESENTAÇÃO DO SIMULADOR DE OPERAÇÃO
DOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO E MODELAMENTO DO
FUNCIONAMENTO NORMAL DO TREM"

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo consta de uma descrição geral do Simulador de Operação dos Trens do Metrô de São Paulo, visando esclarecer os objetivos a serem alcançados pelo Modelo construído para os Trens do Metrô de São Paulo, seguindo-se uma descrição dos algoritmos correspondentes à simulação das diversas partes do Modelo.

3.2. DESCRIÇÃO GERAL DO SIMULADOR DE OPERAÇÃO DE TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO

O Simulador não oferecerá qualquer sensação mecânica de movimento, ou ainda os ruídos característicos da movimentação do trem. Seu objetivo principal será o de treinar o operador de trens no que se refere à solução de falhas de equipamento.

Tendo isto em vista, o modelo pode ser simplificado no que se refere a sistema pneumático, modelamento de aceleração, frenagem e deslocamento. Uma parte muito importante e cujas características físicas tornam proibitivo o custo de sua implementação real no Simulador é o Sistema de Portas, já que este é responsável por um grande número de falhas operacionais que constam do programa de treinamento de operador de trem.

Será adotado apenas um pequeno painel de lâmpadas que representam uma porta do lado direito e uma porta do lado esquerdo, abertas ou fechadas, com chaves representando o botão e a válvula de isolamento de falha de portas do lado direito.

A porta do lado esquerdo não tem botão e válvula de isolamento, já que as falhas de porta são simuladas na porta do lado direito, e não haveria motivo para repetir o mesmo tipo de falhas, que exigiria as mesmas atitudes do operador, mudando apenas a porta onde ocorreria, no caso mera lâmpada num painel.

Do Simulador constarão um console de operador e dois jogos de armário elétrico, quadro e painel de válvulas externas.

Como ao Simulador não importam os equipamentos tipo para-brisa, engate de vagões, buzina, e iluminação interna e externa, excluir-se-ã:

Do console (vide console no item 2.8):

- . Botão do limpador de para-brisa.
- . Botão de desengate.
- . Botão de iluminação do trem.
- . Botão de luz da cabine.
- . Botão da buzina.
- . Válvula da buzina.

Do quadro (vide quadro no item 2.9):

- . Disjuntor da luz principal.
- . Disjuntor da luz de emergência.
- . Disjuntor do farol.
- . Disjuntor do anunciador.
- . Disjuntor do controle do arceiro.
- . Disjuntor da ventilação.

Do armário elétrico (vide item 2.10):

- . Disjuntor DYN.
- . Equipamento do rádio.
- . Caixa repetidora.
- . Motor de porta.

Das válvulas do sistema pneumático discutidas no item 2.5, serão consideradas somente as relevantes na solução de problemas de vazamentos de ar comprimido e que sejam operacionais, ou seja:

- . Válvula 1: válvula de isolamento da tubulação principal.
- . Válvula 2: válvula de isolamento da tubulação de freio.
- . Válvula 5: válvula de isolamento da UOP.
- . Válvula 5A: válvula de isolamento da tubulação de freio na UOP.
- . Válvula 6: válvula de isolamento dos cilindros de freio.

Deve-se ressaltar que as válvulas e disjuntores não-operacionais estarão presentes apenas fisicamente no simulador, não exercendo qualquer papel na dinâmica do Modelo. Estarão todos ligados em série, de forma a se poder detectar se estão na posição necessária para se dar a partida no trem. Não entrarão na simulação de falhas.

Diversas falhas, tais como vazamentos de ar comprimido, não terão o necessário equipamento (as tubulações de ar, no caso) físico onde possam ser provocadas. Tal deficiência será suprida com a instalação de chaves que, uma vez acionadas, correspondem à falha.

O Simulador prevê a existência de um instrutor, que através de um painel apropriado supervisionará o treinamento do Operador e poderá provocar falhas no trem através das chaves do mesmo painel. (Fig. 3.1).

O Simulador terá a seguinte constituição física:

- . Microprocessador INTEL - 8086.
- . 64 Kbytes de memória RAM dinâmica.
- . Duas unidades de discos flexíveis de 8".
- . Um teletipo para emissão de relatórios.
- . Um console de operação do trem.
- . Um painel do Instrutor.
- . Dois conjuntos de válvulas, armário elétrico, e quadro.
- . Um painel de sinalização externa.
- . Um painel de simulação de falhas de portas.
- . Um painel indicador da posição do trem na via.

O fato do Simulador contar com apenas quadro, armário e válvulas correspondentes a dois carros, ao passo que o trem padrão possui seis carros, implica na necessidade de se estabelecer uma convenção, a fim de que se possa simular falhas que dependem da posição do carro na composição. (Fig. 3.2).

Designou-se cada conjunto de quadro, armário elétrico e válvulas como sendo um Módulo, e assim tem-se o Módulo-1 e o Módulo

dulo-2. O Módulo-1 será correspondente ao carro-líder, e se terá uma chave indicadora de mudança de cabine, a ser acionada pelo operador. O Módulo-2 corresponderá a qualquer dos carros de 2 a 6, dependendo da posição de uma chave indicadora de 5 posições no painel do instrutor.

3.3. SITUAÇÃO DO "MODELO" DENTRO DO "SIMULADOR"

A par da complexidade do hardware, o software do Simulador assume dificuldade de implementação consideravelmente maior. Tal software foi dividido em três partes: (Fig. 3.3).

- . Sistema Operacional.
- . Supervisor da Simulação.
- . Modelo dos Trens.

Ao Sistema Operacional caberá a gerência dos recursos computacionais; ao Supervisor caberá a entrada e saída de dados, geração de relatórios e inicialização do Modelo; e ao Modelo caberá, uma vez recebidos os dados referentes ao estado dos dispositivos do trem, gerar uma saída similar à que seria produzida pelo trem real na mesma situação.

3.4. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE O MODELO

O Modelo foi desenvolvido segundo os modernos preceitos de concepção de software que visam, através de uma sistemática, se alcance os objetivos visados de uma forma organizada e eficiente. (1).

Tais preceitos indicam como desejáveis:

Modularidade: O Modelo foi dividido segundo as diversas partes funcionais do trem, partes essas com interfaces bem definidas. Tais partes são:

- . Interface com o Supervisor.

(1) = G.J.Myers, Software Reliability : Principles and Practices.

John Wiley and Sons, London - 1976.

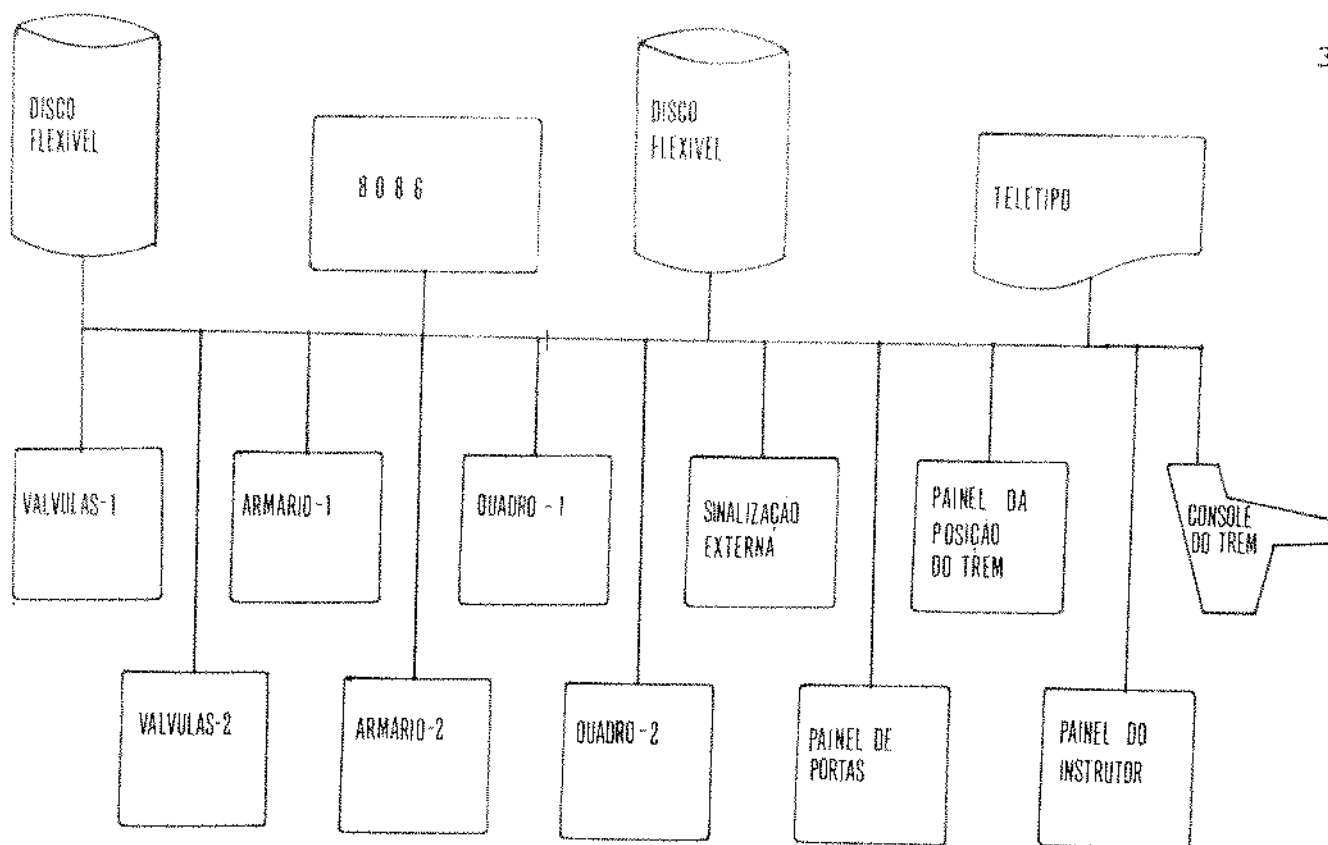


FIG. 3.1 A - Diagrama de Blocos do Simulador.

OS SINAIS MARCADOS COM * SÃO OS QUE FORAM CONSIDERADOS NO MODELO

SINAIS EXISTENTES NOS QUADROS

Disjuntor de Bateria.....*

Disjuntor da Luz Principal

Disjuntor da Luz de Emergência

Disjuntor do Farol

Disjuntor de Tração*

Disjuntor de Comunicação

Disjuntor do Anunciador

Disjuntor do Areeiro

Disjuntor da Ventilação

Disjuntor de Freio*

Disjuntor de ATC/ATO*

Fusível da Buzina

Fusível da Luz de Cauda

Fusível de Acoplamento*

Fusível de Velocidade-Zero*

Botão Geral de Comando de Portas.....*

SINAIS EXISTENTES NOS ARMÁRIOS ELÉTRICOS

Disjuntor DYN

Disjuntor CCS*

Disjuntor CCO*

Disjuntor da Caixa Lógica*

Botoneira do Compressor*

FIG. 3.1.b

SINAIS EXISTENTES NO CONSOLE DO OPERADOR

Alavanca de Comandos	*
Alavanca Reversora	*
Alavanca de Modos	*
Botoneiras de Porta	*
Chave de Portas Derivar.....	*
Botão do Farol	
Botão de Iluminação do Trem	
Botão de Luz da Cabine	
Botão de Lâmpada-Teste	
Indicador de Velocidade Limite (IVL).....	*
Anunciador	*
Manômetro Duplo	*
Botão de Carregamento de Freio	*
Chave de Teste de Partida no Pátio	*
Módulo de Identificação	
Módulo do Rádio	
Botão da Buzina	
Válvula da Buzina	
Botão do Limpador de Para-Brisa	
Velocímetro	*
Botão de Desengate	
Bola Vermelha	*

FIG. 3.1.c

VÁLVULAS EXTERNAS DO TREM (PAINÉIS DE VÁLVULAS)

2 Válvulas 1	- Isolamento da Tubulação Principal	*
2 Válvulas 2	- Isolamento da Tubulação de Freio	*
1 Válvula 3	- Abertura Externa da Folha de Porta.	
1 Válvula 4	- Isolamento da Bolsa de Ar.	
1 Válvula 5	- Isolamento da UOP.	*
1 Válvula 5A	- Isolamento da Tubulação de Freio na UOP.	*
1 Válvula 6	- Isolamento dos Cilindros de Freio.	*
1 Válvula 7	- Isolamento do Reservatório de Freio.	
1 Válvula 8	- Isolamento do Freio de Serviço.	
1 Válvula 9	- Isolamento do Sistema de Portas.	

FIG. 3.1.d

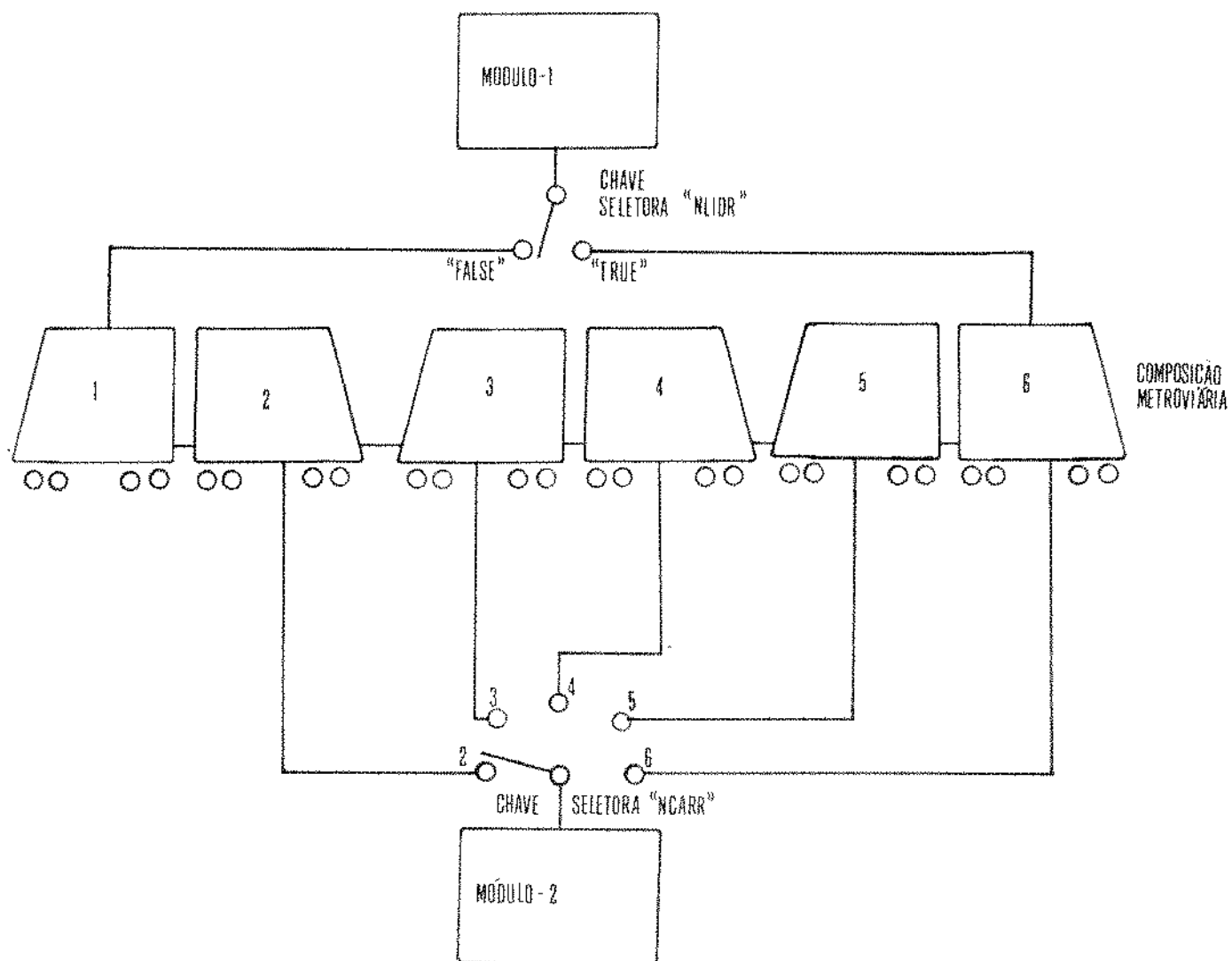


FIG. 3.2 - Seleção do tipo e número do carro no Simulador.

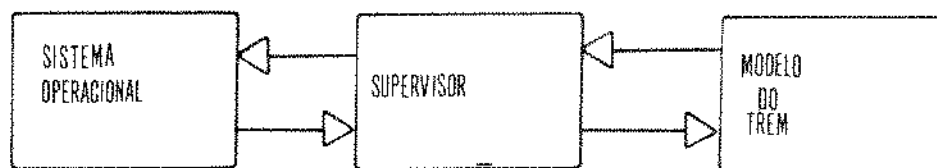


FIG. 3.3 - Diagrama de Blocos do Software do Simulador

- . Lógica de acionamento de sistemas.
- . ATO/ATP.
- . DSF.
- . Freios.
- . Portas da direita.
- . Portas da esquerda.
- . Sistema pneumático.
- . Aceleração, velocidade e posição do trem.
- . Temporização de eventos em Tempo-real.

O agrupamento de funções similares possibilita melhor o controle do projetista sobre as interações entre as partes do sistema.

- . Minimização de complexidade: todos os cálculos foram escalonados de forma que se pudesse efetuá-los diretamente na aritmética inteira de 16 bits do INTEL-8086, e todas as funções representativas de comportamentos dinâmicos, tais como fluxos de ar; acelerações e frenagens; etc; foram linearizadas. Além de possibilitar execução mais rápida, o que é fundamental em "Tempo-Real", diminui as chances de erro de projeto.
- . Legibilidade: foi adotada uma padronização de mnemônicos, tendo-se em vista o comprimento máximo de cinco caracteres na linguagem de alto nível em que o sistema seria implementado e o grande número de variáveis do sistema (FORTRAN F10). Isto possibilitou maior rapidez de depuração de erros sintáticos de codificação, pois a omissão ou acréscimo acidental de letras num mnemônico salta aos olhos numa rápida inspeção visual.
- . Auto-documentação: a concepção dos algoritmos em linguagem "tipo-ALGOL" reduz consideravelmente a tarefa de documentação. Diminui as chances de erro de projeto e facilita a depuração do sistema.
- . Alto nível de abstração: a concepção dos algoritmos no mais elevado nível de abstração possibilita ao projetista concentrar sua atenção no problema a ser resolvido em si, sem distrair sua

atenção com detalhes da linguagem de implementação, ou do "hard ware" de implementação particular adotado.

Todos estes preceitos contribuíram para que se tivesse os algoritmos escritos, depurados, documentados e o trem simulado em FORTRAN-F10 (DEC-PDP - 10) no prazo de um ano.

Embora a otimização de código fosse um objetivo sempre presente, o objetivo principal desta fase do projeto foi fazer um Modelo de Trem que realizasse as funções desejadas, de forma que alguma otimização suplementar de código poderá ser alcançada quando da tradução manual do programa original em FORTRAN-F10 para a linguagem de implementação no INTEL 8086.

3.5. MODELAMENTO DA ATIVAÇÃO DOS SISTEMAS DO TREM

Por sistemas do trem deve-se entender os sistemas de freios; o sistema pneumático; o sistema ATP/ATO; e o anunciador. As variáveis do Modelo poderão ser inteiras ou booleanas.

3.5.1. ATO: Modo Automático

Para se ativar o modo automático do trem devem ocorrer os seguintes eventos:

- . disjuntor de ATP/ATO ligado em todos os carros A da com posição (módulos 1 e 2 do Simulador): DATP1 e DATP2.
- . alavanca reversora do carro-líder em frente: ALRFR.
- . alavanca de comando em MFS (Máximo Freio de Serviço) ACMFS.
- . alavanca de modos em automático: AMAUT.
- . disjuntor de bateria do carro-líder ligado: (DBAT1)
- . 38 VDC alimentando o console: (TENDC)

A expressão booleana destas condições é:

```
AUTOM = ALRFR.AND.DATP1.AND.DATP2.AND.ACMFS.AND.AMAUT.AND.DBAT1.
AND.TENDC
```

onde AUTOM = modo automático ativo.

3.5.2. MCS: Modo Semiautomático

Para se ativar o modo semiautomático deve-se ter:

- . disjuntor ATP/ATO ligado em todos os carros A da composição (módulos 1 e 2 do Simulador): DATP1 e DATP2.
- . alavanca reversora em frente: ALRFR.
- . alavanca de modos em semiautomático: AMSAU.
- . ou alavanca de modos em semiautomático e botão de redundância ligado: AMSAR.
- . 38 VDC alimentando o console: TENDC.
- . disjuntor de bateria do carro-líder ligado: DBAT1.

A expressão booleana destas condições é:

$$\text{SAUTO} = \text{ALRFR} \cdot \text{AND} \cdot \text{DATP1} \cdot \text{AND} \cdot \text{DATP2} \cdot \text{AND} \cdot (\text{AMSAU} \cdot \text{OR} \cdot \text{AMSAR}) \cdot \text{AND} \cdot \text{TENDC} \cdot \text{AND} \cdot \text{DBAT1}$$

onde SAUTO = modo semiautomático ativo.

3.5.3. Modo Manual

O modo manual é ativado desde que a alavanca de comando esteja em aceleração ou frenagem de serviço; a alavanca reversora não esteja em NEUTRO, e o botão de redundância em qualquer posição. Se o botão de redundância estiver ligado ter-se-á o modo Manual-Redundante.

$$\text{MANUA} = (. \text{NOT} \cdot \text{ALRNE}) \cdot \text{AND} \cdot (\text{ACFRS} \cdot \text{OR} \cdot \text{ACACL})$$

onde

MANUA = trem operando no modo Manual.

ALRNE = alavanca reversora em Neutro.

ACFRS = alavanca de comando em Freio de Serviço.

ACACL = alavanca de comando em Aceleração.

3.5.4. Anunciador

Para se ativar o anunciador deve-se ter:

- . os dispositivos não-operacionais na posição "standard":
GERAL.
- . o disjuntor de tração do carro-líder ligado: DTRC1.
- . o fusível de acoplamento do carro-líder intacto: FACPL.
- . a alavanca reversora em frente ou ré, não em neutro:
.NOT.ALRNE.
- . disjuntor de bateria do carro-líder ligado: DBAT1.
- . 38 VDC alimentando o console: TENDC.

A expressão booleana destas condições é:

ANUNC = GERAL.AND.DTRC1.AND.FACPL.AND.(.NOT.ALRNE).AND.DBAT1.AND.
TENDC

onde ANUNC = anunciador ativo.

3.5.5. Tração do Módulo-1

Para se ter a tração do Módulo-1 ativa é preciso:

- . disjuntor de tração do módulo-1 ligado: DTRC1.
- . alavanca reversora em frente ou ré (não em neutro):
NOT.ALRNE.
- . se em automático, alavanca de comandos em MFS, ou se em manual ou MCS a alavanca de comando em aceleração:
(ACACL.OR.(ACMFS.AND.AUTOM)).
- . 750 VDC no terceiro trilho: TTRIL.
- . disjuntor de caixa lógica do módulo-1 ligado: DCXL1.
- . freios aliviados: FRALI.
- . disjuntor de CCO do módulo-1 ligado: DCCO1.
- . falha "tração não operante" não ativada: .NOT.TRANO.

- . portas do lado direito fechadas: PTFDD.
- . portas do lado esquerdo fechadas: PTFDE.
- . botão de isolação de folha de portas em neutro ou ligado: BIFPN.OR.BIFPL.
- . disjuntor de bateria do módulo-1 ligado e 38 VDC: DBAT1.AND.TENDC.

A expressão booleana destas condições é:

$$\text{TRAP1} = \text{DTRC1.AND.}(\text{.NOT.ALRNE}).\text{AND.}(\text{ACACL.OR.}(\text{ACMFS.AND.AUTOM}))$$

$$\text{.AND.FRALI.AND.DCCOL.AND.}(\text{.NOT,TRANO}).\text{AND.}(\text{PTFDD.OR.}(\text{.NOT.}$$

$$(\text{BIFPN.OR.BIFPL})))\text{.AND.PTFDE.AND.DBAT1.AND.TENDC}$$

onde TRAP1 = tração do módulo-1 ativa.

3.5.6. Freio do Módulo-1

Para se ativar o sistema de freio do módulo-1 deve-se ter:

- . disjuntor de tração do módulo-1 ligado: DTRC1.
- . fusível de acoplamento do módulo-1 intacto: FACP1.
- . disjuntor de freio do módulo-1 ligado: DFRE1.
- . disjuntor de caixa lógica do módulo-1 ligado: DCXL1.
- . disjuntor de bateria do módulo-1 ligado: DBAT1.
- . 38 VDC alimentando o console: TENDC.

A expressão booleana destas condições é:

$$\text{FREI1} = \text{DTRC1.AND.FACP1.AND.DFRE1.AND.DCXL1.AND.DBAT1.AND.TENDC.}$$

onde FREI1 = sistema de freio do módulo-1 ativo.

3.5.7. Compressor do Módulo-1

Para se ter o compressor no Módulo-1 ativo é preciso:

- . chave do compressor do Módulo-1 ligada: CHCP1.

- . 750 VDC no terceiro trilho: TTRIL.
- . disjuntor de freio do módulo-1 ligado: DFREL.
- . 38 VDC alimentando os equipamentos: TENDC.
- . disjuntor de bateria do Módulo-1 ligado: DBAT1.

A expressão booleana destas condições é:

COMP1 = TENDC.AND.DBAT1.AND.CHCP1.AND.TTRIL.AND.DFRE1

onde COMP1 = compressor do Módulo-1 ativo.

3.5.8. Tração do Módulo-2

Para se ter a tração do Módulo-2 ativa é preciso:

- . disjuntor de tração do Módulo-2 ligado: DTRC2.
- . alavanca reversora em frente ou ré (não em neutro):
.NOT.ALRNE.
- . 750 VDC no terceiro trilho: TTRIL.
- . disjuntor da caixa lógica do Módulo-2 ligado: DCXL2.
- . se em automático, alavanca de comando em MFS, e se em outro modo, alavanca de comando em "aceleração":
(ACACL.OR.(ACMFS.AND.AUTOM)).
- . portas fechadas: PTFDD.AND.PTFDE.
- . botão de isolamento de folha de portas em neutro ou ligado: BIFPN.OR.BIFPL.

A expressão booleana destas condições é

TRAP2 = DTRC2.AND.(.NOT.ALRNE).AND.TTRIL.AND.DCXL2.AND.
(ACACL.OR.(ACMFS.AND.AUTOM)).AND.PTFDD.AND.PTFDE.AND.
(BIFPN.OR.BIFPL)

onde TRAP2 = tração do Módulo-2 ativa.

3.5.9. Freio do Módulo-2

Para se ter o sistema de freio do Módulo-2 ativo é pre

ciso:

- . disjuntor de tração do Módulo-2 ligado: DTRC2.
- . fusível de acoplamento do Módulo-1 intacto: FACP1.
- . disjuntor de freio do Módulo-2 ligado: DFRE2.
- . disjuntor de caixa lógica do Módulo-2 ligado: DCXL2.
- . disjuntor de bateria do Módulo-2 ligado: DBAT2.
- . 38 VDC alimentando os equipamentos: TENDC.

A expressão booleana destas condições é:

$FREI2 = DTRC2.AND.FACP1.AND.DFRE2.AND.DCXL2.AND.DBAT2.AND.TENDC.$

onde FREI2 = sistema de freio do Módulo ativo.

3.5.10. Compressor do Módulo-2

Para se ter o compressor do Módulo-2 ativo é preciso:

- . 38 VDC alimentando os equipamentos: TENDC.
- . disjuntor de bateria do Módulo-2 ligado: DBAT2.
- . chave do compressor do Módulo-2 ligada: CHCP2.
- . 750 VDC no terceiro trilho: TTRIL.
- . disjuntor de freio do Módulo-2 ligado: DFRE2.

A expressão booleana destas condições é:

$COMP2 = TENDC.AND.DBAT2.AND.CHCP2.AND.TTRIL.AND.DFRE2$

onde COMP2 = compressor do Módulo-2 ativo.

3.6. ATIVAÇÃO DA FALHA "TRAÇÃO ANORMAL"

A falha "tração anormal" é das simuladas através de chave no painel do instrutor. A solução desta falha será pressionar o botão de partida no pátio, que rearma a chave de linha.

Temos:

- . chave de "tração não operante acionada": TRANO.

- . variável que armazena a existência da falha: TRNOP.
- . botão de partida no pátio pressionado: BTPTO.

A expressão booleana destas condições é:

$$\text{TRNOP} = \text{TRNOP}.\text{AND}.(.\text{NOT}.\text{BTPTO}).\text{OR}.\text{TRANO}$$

3.7. MODELAMENTO DO OPERADOR DE TREM AUTOMÁTICO (ATO)

O Operador de Trem Automático atua quando o trem está no modo Automático, cabendo-lhe manter a velocidade do trem numa faixa de até 6 Km/h abaixo do código de via (CDV), e realizar a parada programada nas estações, abrindo e fechando as portas do trem.

Os comandos de aceleração e frenagem são enviados para os sistemas de tração e freio, respectivamente, através dos sinais P (de aceleração) e BRK (de frenagem). Estes sinais assumem valores inteiros, que vão de zero a 127, por uma questão de adequação à escala do conversor A/D usado para transformar a tensão extraída do potenciômetro da alavanca de comandos em dígitos. Será adotada a convenção de máxima aceleração ou frenagem quando os sinais forem 127 e mínima aceleração ou frenagem quando forem zero.

O Operador Automático aplica sempre freio máximo deserviço ou aceleração máxima ao ajustar a velocidade do trem, exceto na parada programada quando a frenagem é modulada de forma ao trem parar exatamente no ponto pré-determinado. Quando o trem entra na estação, deve iniciar a frenagem num ponto pré-fixado e parar na "posição de parada".

Considerando-se que a frenagem do trem será um movimento linear acelerado uniforme, ou seja, com aceleração constante, tem-se que, uma vez conhecidas a distância que separa o ponto atual em que o trem se encontra e sua velocidade, calcular a aceleração necessária para fazê-lo parar no espaço que falta até atingir o ponto de parada.

Tem-se:

- . S = distância até o ponto de parada (conhecida).
- . V_0 = velocidade atual do trem (conhecida).
- . A = aceleração que fará o trem parar após percorrer a distância S (incôgnita).
- . t = tempo necessário para o trem parar com a aceleração A e velocidade inicial V_0 (incôgnita).

Da cinemática tem-se:

A distância percorrida em função de A e V_0 após o tempo t.

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} A t^2 \quad (1)$$

E a velocidade final do trem, que no caso é zero porque se quer que o trem pare, em função de A, V_0 e t:

$$v = At + V_0 \quad (2)$$

Isolando-se t em (2) tem-se:

$$t = \frac{-V_0}{A} \quad (3)$$

E substituindo-se (3) em (1) tem-se:

$$S = \frac{-V_0}{A} + \frac{A}{2} \left(\frac{-V_0}{A}\right)^2 \quad \therefore \quad S = \frac{V_0^2}{A} + \frac{V_0^2}{2A} = \frac{-V_0^2}{2A} \quad (4)$$

E de (4) obtem-se o cálculo da aceleração necessária para fazer o trem parar numa distância S a partir de uma velocidade V_0

$$A = \frac{-V_0^2}{2S} \quad (5)$$

A posição de parada será calculada tomando-se a distância entre estações como sendo de 1200 m, e estabelecendo-se um ponto cinco metros antes do final da estação como o "ponto de parada". Usando-se aritmética inteira, temos a seguinte expressão:

$$PSPDA = (POSIC/1200) * 1200 + 1195$$

que dará a posição de parada em metros, e onde:

- . PSPDA é a posição de parada em metros.
- . POSIC é a posição atual do trem em metros.
- . 1200 é o comprimento do percurso entre duas paradas, em metros.
- . 1195 é a distância entre o final da estação anterior e o ponto de parada atual.

O cálculo da aceleração de frenagem necessária para fazer o trem parar no "ponto de parada" tem que levar em conta a conversão desta aceleração em comando de frenagem (sinal BRK); e a conversão da velocidade de "mm/s" para "m/s".

Estabeleceu-se um perfil mínimo de frenagem, ou seja, uma deceleração mínima abaixo da qual os freios serão aliviados, só sendo aplicados novamente quando a deceleração necessária para o trem parar no ponto de parada (que é inversamente proporcional à distância até o ponto de parada) for maior que a deceleração mínima de frenagem. A dois metros do ponto de parada será aplicado freio máximo de serviço, eviatnao-se assim que as imprecisões devidas à aritmética inteira levem o trem a ultrapassá-lo.

A partida da estação, finda a parada programada, só se dá se o operador pressionar o "botão de carregamento da tubulação de freio", que tem também a função de ativar o TCR, ou seja, o circuito que autoriza a partida do trem.

Em operação normal o trem deve chegar às proximidades do ponto de parada com uma velocidade suficientemente baixa tal que aplicando-se o freio máximo a 2m do ponto de parada; pare um pouco antes do ponto de parada.

A equação de cálculo da frenagem no algoritmo é:

$$SGBRK = ((VELOC/100) * (VELOC/100) / (PSPDA - POSIC))$$

onde:

SGBRK = sinal de frenagem BRK.

VELOC = velocidade atual do trem em mm/seg.

PSPDA = posição de parada programada.

POSIC = posição atual do trem.

Se VELOC < 100 a aritmética inteira calcula SGBRK = 0, o que implica em freios aliviados, ou seja, o trem não pararia, embora estivesse a baixíssima velocidade. (vide FIG.3.4).

Algoritmo do Piloto Automático (ATO)

Se AUTOM

então /se modo automático ativo, então executa algoritmo/
/de pilotagem automática/

início

PPGDA = .TRUE.

PSPDA = (POSIC/1200) * 1200 + 1195

Se (VELOC.LT. VELIM) .AND. (.NOT.SBVEL) /se velocidade abaixo/

então /dá limite e não está freiando por cau

início /sa de sobrevelocidade, então acelera/

SIGNP = 127

SGBRK = 0

fim

Se ((PSPDA-POSIC).LT.55).AND.(.NOT.PPINT).AND.
(.NOT.JPROU).AND.(POSIC.LE.PSPDA))

então /se já ultrapassou ponto de início de

início /frenagem e ainda não parou, executa
parada programada/

PPGDA = TRUE.

SIGNP = 0

Se (PSPDA-POSIC).GT.0 /calcula frenagem

então /se ainda não passou do pon

início /to de parada/

SGBRK = ((VELOC/100)*(VELOC/100))/
(PSPDA-POSIC)

Se SGBRK.GT.127 /limita o sinal
/BRK/

então

Se ((VELOC.GT.1000).AND.(SGBRK.LE.
35))

então SGBRK = 0

Se ((PSPDA-POSIC).LE.2)

então SGBRK = 127

Fim

Fim

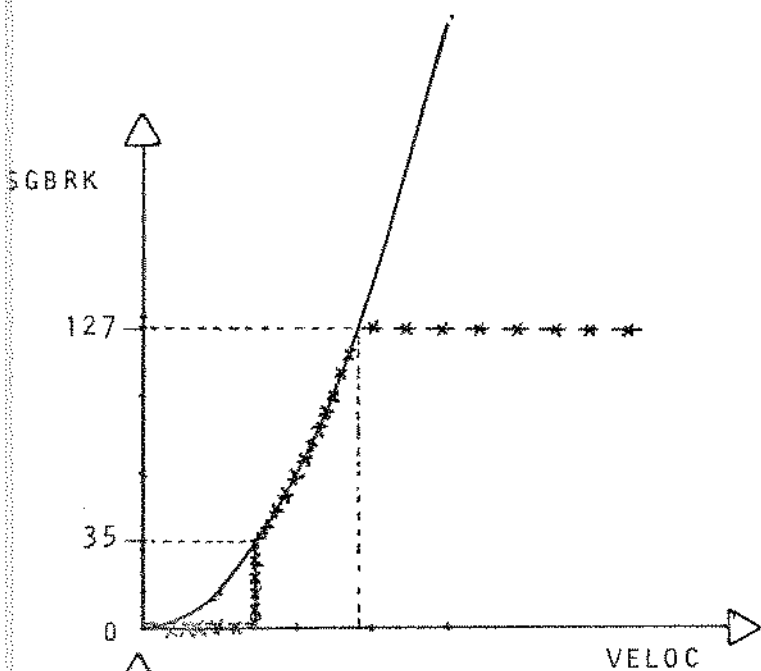
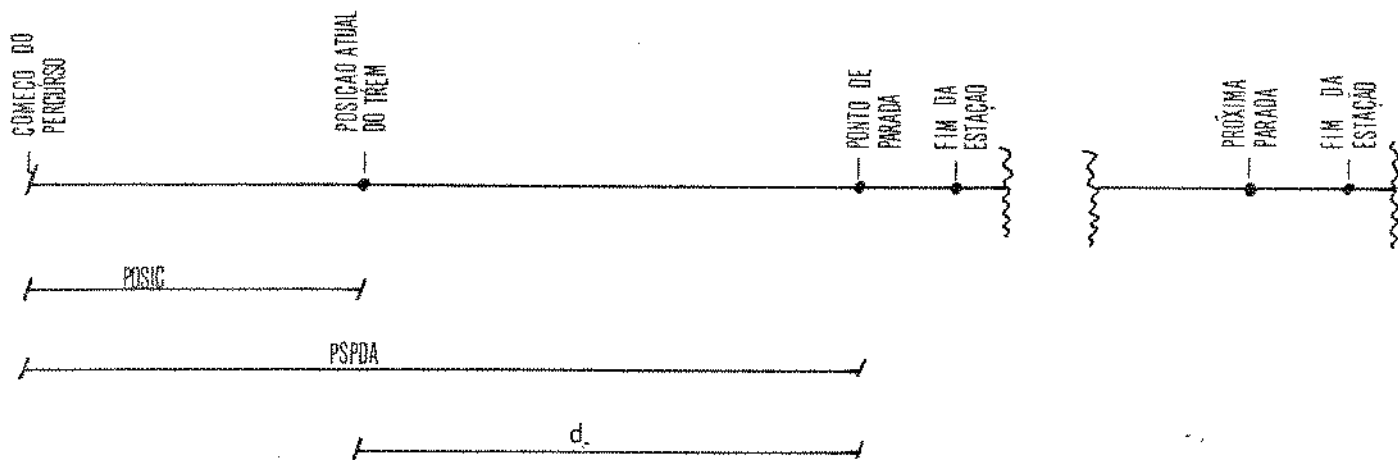
Se ((VELOC.EQ.0).AND.PPGDA.AND.PTFDD) /se o trem pa
então /rou e ainda não
início /abriu as portas/ então liga a
JPROU=.TRUE. /bandeira de "já parou" e aban
ABRAT=.TRUE. /deira de abrir portas automa
fim /ticamente/

Se JPROU.AND.BTBFl /se já parou e se aciona o TCR,
então /dã a partida no trem/
início
SIGNP=127
SGBRK=0
fim

Se JPROU.AND.CPRDO.AND.(.NOT.BTBFl)
então
início
SGBRK=127
SIGNP=0
fim

Se POSIC.GT.PSPDA então JPROU=.FALSE./desliga ban
Se (.NOT.TRAOP) então SIGNP=0 /deira "já parou"
Se CHTPR então VTEMP(2)*VTEMP(2)+1 /se tração
/não operante, conta tempo de
/parada infinito/

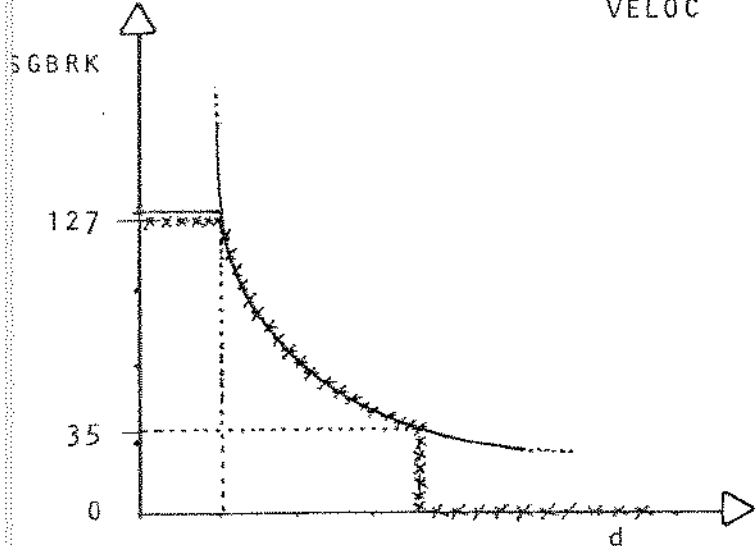
Fim



— curva $SGBRK = VELOC^2$.
 * * * * * curva de SGBRK do Modelo em função de VELOC, para d constante.

O sinal de frenagem SGBRK necessário para fazer o trem parar na distância d e dado por: $SGBRK = VELOC^2/d$

A frenagem máxima é dada por $SGBRK = 127$, e a mínima taxa de frenagem na parada programada é dada por $SGBRK = 35$.



— curva $SGBRK = 1/d$
 * * * * * curva de SGBRK do Modelo em função de d , para VELOC constante.

Caso a taxa de frenagem necessária para parar o trem na distância d seja menor que $SGBRK = 35$, os freios são aliviados ($SGBRK=0$).

FIG. 3.4 - A Parada Programada.

onde:

AUTOM = modo automático ativo.

PPGDA = flag indicador de que o trem está no processo de parada programada.

PSPDA = posição de parada em metros.

VELOC = velocidade do trem em MM/seg.

VELIM = velocidade limite em mm/seg.

SBVEL = flag indicador de que o trem está em processo de frenagem devido a sobrevelocidade.

SIGNP = valor do sinal P.

SGBRK = valor do sinal BRK.

PPINT = parada programada interrompida. (acionável por chave no console do instrutor).

JPROU = flag indicador de que o trem já parou mas ainda não saiu da estação.

55 = distância ao ponto de parada em que o trem deve começar a freiar.

PTFDD = portas do lado direito fechadas.

BTBF1 = botão de carregamento da tubulação de freio acionado

CPRDO = trem parado.

TRAOP = flag indicativo de tração em alguma unidade operante

CHTPR = chave indicadora da falha "tempo de parada infinito" ligada. (chave situada no painel do instrutor)

VTEMP(2) = instante em que as portas deverão fechar sob comando automático.

3.8. CÁLCULO DA PRESSÃO DESEJADA NOS CILINDROS DE FREIO

O comando de aplicação de freios pode provir de frenagem de serviço ou de alguma situação anormal, o que faz a requisição de frenagem ter valores específicos para cada caso, conforme

me abaixo:

Se FREEM então PDCFR = 45 /se freio de emergência aplicar 45
senão /psi/
início

Se EMEPN então PDCFR=45 /se emergência de 1º nível apli-
 /car 45 psi/.
senão
início

Se FMAXS então PDCFR=35 /se Máximo Freio de Servi-
 /ço aplicar 35 psi/.

senão
início

Se F30PS então PDCFR=30 /se Falha no Gerador ou
senão /no "Train-Line" P, apli
início /car 30 psi/.

Se FMINS então PDCFR=10 /Se Falha Gerador
senão /ou "Train-Line"
início /BRK, ou Falha TCR,
 /ou Portas Abertas car
 /ros 2 a 5, aplicar 10
 /psi/

Se F5PSI então PDCFR=5 /Se alavanca
senão /de comando posicio-
início /nada no segundo car
 /ro, aplicar 5 psi/

Se SGBRK.GT.0 então PDCFR=(SGBRK/5)
 + 10 /Freio de
 serviço/

senão PDCFR=0

Se CPRDO.AND.ACMFS então PDCFR=60
 /Freio de Estacio-
 /namento/

Fim

Fim

Fim

Fim

Fim

Se SGBRK.GT.0 então SIGNP=0 /Se o trem está freiando não po
/de haver aplicação simultânea
/de aceleração, daí porque
Fim /SIGNP = 0./

onde:

FREEEM = requisição de freio de emergência.
EMSPN = requisição de emergência de primeiro nível.
FMAXS = requisição de máximo freio de serviço.
F3OPS = requisição de freio de 30 psi.
FMINS = requisição de freio mínimo de serviço.
F5PSI = requisição de freio de 5 psi.
PDCFR = pressão desejada nos cilindros de freio.
SGBRK = sinal que expressa a frenagem comandada pela a
lavanca de comando ou pelo ATO.
ACMFS = alavanca de comando posicionada em Máximo Freio
de Serviço.
CPRDO = "flag" que indica que o trem está parado.
SIGNP = sinal que expressa a magnitude da aceleração co
mandada.

3.9. MODELAMENTO DO DSF

O DSF (Dispositivo Supervisor de Freios) atua quando o trem está operando nos modos automático e semiautomático. Suas funções se dividem em duas classes: Atuação e Supervisão.

As funções da classe Atuação se referem à aplicação de Emergência de Primeiro Nível quando a taxa de frenagem do trem é insuficiente; e as funções da classe Supervisão se referem a: sinalização ao operador das falhas que existam nos freios ou no prôprio DSF, e sinalizar a velocidade de operação do trem quando da ocorrência de falhas.

3.9.1. Sobrevelocidade

Quando a velocidade do trem ultrapassar a velocidade máxima permitida diz-se que ocorreu uma sobrevelocidade. Se estiver operando no modo automático ou semiautomático, o DSF aplicará freio máximo de serviço até que a velocidade caia a um valor igual à máxima velocidade permitida naquele trecho de via, menos seis Km/h.

Algoritmo de Sobrevelocidade

```

Se  AUTOM.OR.SAUTO
      então
        início
          VELIM = ((CDVEL * BTPCT)/100) * 278  /278=Fator de conver
                                                /são de Km/h para
                                                /mm/seg/
          Se (((VELOC.GT.VELIM) .OR.SBVEL) .AND.(AUTOM.OR.SAUTO))
              então /detecta sobrevelocidade e liga "flag"/
              início /correspondente. Aplica MFS/
                SGBRK = 127  /127 = Freio máximo de serviço/
                SBVEL = .TRUE.
              fim
          Se (SBVEL.AND.(VELOC.LT.(VELIM = 1666))) então SBVEL =
              =.FALSE.
        fim /ao ser detectado que a velocidade está no limite infe
            /rior da faixa permitida, o "flag" é desligado/
            /1666 = 1666 mm/seg. = 6 Km/h./

```

Se o trem está em modo Automático ou Semiautomático, é calculada a velocidade-limite, que é igual ao código de velocidade vezes a percentagem designada pelo Botão de Redução Percentual e se, além disso, o trem está trafegando acima da velocidade-limite ou está freiando por motivo de sobrevelocidade, é aplicado Máximo Freio de Serviço e assinalada sobrevelocidade. E se o trem está em sobrevelocidade e a velocidade está mais de 6 Km/h abaixo da velocidade-limite o sinal de sobrevelocidade é desligado.

onde:

AUTOM = trem operando no modo automático.
 SAUTO = trem operando no modo semiautomático.
 VELIM = velocidade limite em que o trem pode estar. (em mm/seg).
 CDVEL = código de velocidade máxima daquele trecho da via. (em Km/h).
 BTPCT = redução percentual da velocidade operacional. (vai de 0 a 100)
 VELOC = velocidade atual do trem em mm/seg.
 SGBRK = sinal de comando do freio. Vai de 0 a 127.
 SBVEL = "flag" indicador da condição de sobrevelocidade.

3.9.2. Teste do DSF

Quando pressionado o botão de teste do DSF, irá ocorrer uma verificação do estado do DSF e do sistema de freios, e os anunciadores serão atualizados. Após pressionado o botão e decorridos quatro segundos, haverá aplicação de emergência de primeiro nível e a cigarra do DSF soará. Após liberado o botão o trem voltará ao estado normal.

Algoritmo do Teste do DSF

```

Se BTDSF.AND.(.NOT.FLDSF) /se o botão foi pressionado e o teste
                               /ainda não foi inicializado, iniciali
                               /za/
  então
  início
    FLDSF = .TRUE. /"flag" que indica testes já iniciali
    TEDSF = .FALSE. /zado/
    VTEMP(7) = TREAL + 40 /instante de tempo-real em que se
                               /terão passado 4 seg. desde o acio
  fim                               /nar do botão controle de tempo é
CIGAR = .FALSE. /feito na rotina de tempo. vide i
                               /tem 2.14/

```

Se (BTDSF.AND.TEDSF) /se, após terem-se transcorrido 4 seg., o
então /botão de teste do DSF ainda está pressio
início /nado, então atualiza anunciadores/

EMEPN = .TRUE.

ANFFR = FFREM

ANFFA = FFAPL

ANVRD = OPERM

CIGAR = .TRUE.

fim

onde:

TEDSF = "flag" que indica fim da temporização de 4 seg.
do teste do DSF.

BTDSF = botão de teste do DSF.

FLDSF = "flag" que indica que o teste do DSF já foi ini
cializado.

VTEMP(7) = variável que contém o valor do instante de tem
po-real em que se terão passado 4 seg. desde
que o botão foi pressionado.

TREAL = valor do tempo-real em décimos de segundo.

CIGAR = cigarra do DSF soando.

EMEPN = emergência de primeiro nível aplicada.

ANFFR = anunciador de "freio falha remoção" aceso.

ANFFA = anunciador de "freio falha aplicação" aceso.

ANVRD = anunciador de "velocidade ATC redução" aceso.

ANOPM = anunciador de "operação manual" aceso.

40 = tempo de temporização em décimos de segundo.

3.9.3. Rearme do DSF

Como os anunciadores do DSF possuem memória, com exce
são do anunciador de "freio de segurança aplicado", representado

pela variável "EMEPN", a sinalização de falhas não se apaga mesmo depois da falha ter sido sanada. Para apagar estes anúncios existe o "botão de rearme do DSF".

Algoritmo do rearme do DSF

```

Se   BRDSF
      então
      início
          ANFFR = .FALSE.
          ANFFA = .FALSE.
          ANFSA = .FALSE.
          ANVRD = .FALSE.
          ANOPM = .FALSE.
          ANTRI = .FALSE.
          ANATO = .FALSE.
          ANTAN = .FALSE.
      fim

```

onde:

ANFFR = anunciador de "freio falha remoção".
 ANFFA = anunciador de "freio falha aplicação".
 ANFSA = anunciador de "freio de segurança aplicado".
 ANVRD = anunciador de "velocidade ATC redução".
 ANOPM = anunciador de "operação manual".
 ANTRI = anunciador de "tração isolada".
 ANTAN = anunciador de "tração anormal".
 ANATO = anunciador de "ATO anormal".

. Acendimento da região "S" do IVL (Indicador de Velocidade Limite).

É um conjunto de lâmpadas vermelhas que se acende caso ocorra sobrevelocidade ou o carro esteja parado e pronto para ope

rar em ATC/ATO. Indica aplicação de freios pelo DSF (Dispositivo Supervisor de Freios).

Algoritmo de acendimento da região "S" do IVL

Se AUTOM.OR.SAUTO. então IVLRS = SBVEL.OR.CPRDO

onde:

AUTOM = modo ATO ativo.

SAUTO = modo MCS ativo.

IVLRS = região "S" do IVL acesa.

SBVEL = trem em sobrevelocidade.

CPRDO = trem parado.

. Acionamento dos anunciadores de "velocidade ATC redução" e "operação manual".

Quando cair o disjuntor de DSF do Módulo-2 será sinalizado "velocidade ATC redução", e quando ocorrer vazamento na tubulação de freio do primeiro carro (Módulo-1) será sinalizado "operação manual".

Algoritmo de "velocidade ATC redução"

Se .NOT.DDSF2 então VATCR = .TRUE.

onde:

DDSF2 = disjuntor de DSF do Módulo-2 ligado.

VATCR = anunciador de "velocidade ATC redução aceso".

Algoritmo de "operação manual"

Se VZTBF.AND.(NCARR.EQ.1) então OPERM = .TRUE.

onde:

VZTBF = vazamento na tubulação de freio.

NCARR = número do carro onde está ocorrendo vazamento.

3.9.4. Freio Falha Aplicação e Freio Falha Remoção

Freio Falha Aplicação e Freio Falha Remoção são funções de supervisão do Sistema de Freios pelo DSF (Dispositivo Supervisor de Freios) que detectam quando ocorre falha da aplicação dos freios ou no alívio dos freios, respectivamente.

Freio Falha Aplicação é uma função do DSF que verifica se, após seis segundos de o trem ter parado, a pressão nos cilindros de freio está acima de trinta psi. Caso não esteja, acende o "anunciador de freio falha aplicação", significando que não se conseguiu acionar os freios do trem.

Algoritmo de Freio Falha Aplicação

Se (VELOC.EQ.0).AND.(.NOT.FLAPL).AND.(PDCFR.GT.0)

então

início

TFAPL = .FALSE.

FLAPL = .TRUE.

VTEMP(5) = TREAL + 60

fim

onde:

VELOC = velocidade do trem em mm/seg.

FLAPL = "flag" que a temporização de "freio falha aplicação" já foi iniciada.

PDCFR = pressão desejada nos cilindros de freio.

TFAPL = "flag" que indica que a temporização de "freio falha aplicação" já terminou.

VTEMP(5) = instante de tempo-real, em décimos de segundo, em que se terão passado seis segundos desde o começo da temporização de "freio falha aplicação".

Se TFAPL.AND. ((PCIF1.LT.30).OR.(PCIF2.LT.30)).AND.(VELOC.EQ.0).AND.(PDCFR.GT.0) então FFAPL = .TRUE. /se pressão nos cilindros de freio de algum carro é menor que 30 psi e o trem está parado e está sendo comandada aplicação de freio, e já se passaram 6 seg. desde que o trem parou, então liga o "flag" de Freio Falha Aplicação/

Se TFAPL.AND.(.NOT.FFAPL).AND.FRALI então FLAPL = .FALSE. / se já se passaram os seis segundos, e não ocorreu "freio falha aplicação" e os freios foram aliviados, é liberada a inicialização da temporização/

onde:

TFAPL = fim da temporização de "freio falha aplicação".

PCIF1 = pressão dos cilindros de freio do Módulo-1.

PCIF2 = pressão dos cilindros de freio do Módulo-2.

VELOC = velocidade do trem em mm/seg.

PDCFR = pressão desejada nos cilindros de freio.

FFAPL = "flag" indicador da ocorrência da falha "freio falha aplicação".

FRALI = freios aliviados.

FLAPL = "flag" que indica que a temporização de "freio falha aplicação" está em curso.

Algoritmo de Freio Falha Remoção

Freio Falha Remoção é a falha dos mecanismos de remoção de freios do trem.

Se (MSBRK.GT.0).AND.(SGBRK.EQ.0).AND.(.NOT.(FFREM.OR.FLFFR))

então /se os freios foram removidos e não ocorreu a falha/início /"freio falha remoção" e a temporização não foi ini-

cializada, inicializa temporização/

FFREM = .FALSE.

FLFFR = .TRUE.

VTEMP(4) = TREAL + 60

fim

Se TFREM.AND.(.NOT.FRALI).AND.(SIGNP.GT.0) então FFREM = .TRUE.
Se TFREM.AND.(.NOT.FFREM) então FLFFR = .FALSE.

onde:

MSBRK = memória do valor do sinal BRK na amostragem anterior.

SCBRK = valor do sinal BRK.

FFREM = "flag" que indica a ocorrência da falha "freio falha remoção".

FLFFR = "flag" que indica que a temporização de "freio falha remoção" foi inicializada.

TFREM = "flag" que indica o fim da temporização de "freio falha remoção".

VTEMP(4) = instante de tempo-real em que termina a temporização de "freio falha remoção".

FRALI = freios aliviados.

3.9.5. Acionamento dos Anunciadores no Console

Os anunciadores acendem-se caso o disjuntor de DSF do Módulo-1 estiver ligado e a variável ANUNC (vide item 3.5.4) estiver "TRUE".

Algoritmo de acendimento dos anunciadores:

Se ANUNC.AND.DDSF1

então

início

ANFFR = ANFFR.OR.FFREM

ANFFA = (ANFFA.OR.FFAPL.OR.(.NOT.DDSF2)).AND.FACOP

ANFSA = (EMEPN.AND.DDSF1.OR.(.NOT.DDSF2)).AND.FACOP

ANVRD = ANVRD.OR.VATCR

ANOPM = (ANOPM.OR.OPERM.OR.(.NOT.DDSF2)).AND.FACOP

ANTRI = ANTRI.OR.(.NOT.(DTRC1.AND.TTRIL.AND.DCXL1.AND.
 .DCC01.AND.DTRC2.AND.DEXL2.AND.DECO2.AND.
 .DBAT2))

ANATO = ANATO.OR.DSFSA
 ANTAN = ANTAN.OR.TRANO
 ANCAN = .NOT.(TTRIL.AND.DCCS1)
 ANFEA = .NOT.FACOP

fim

senão

início

ANFFR = .FALSE.
 ANFFA = .FALSE.
 ANFSA = .FALSE.
 ANVRD = .FALSE.
 ANOPM = .FALSE.
 ANTRI = .FALSE.
 ANATO = .FALSE.
 ANTAN = .FALSE.
 ANCAN = .FALSE.
 ANFEA = .FALSE.

fim

onde:

ANFFR = anunciador de "freio falha remoção" aceso.
 ANFFA = anunciador de "freio falha aplicação" aceso.
 ANFSA = anunciador de "freio de segurança aplicado" aceso.
 ANVRD = anunciador de "velocidade redução" aceso.
 ANOPM = anunciador de "operação manual" aceso.
 ANTRI = anunciador de "tração isolada" aceso.
 ANATO = anunciador de "ATO anormal" aceso.
 ANTAN = anunciador de "tração anormal" aceso.
 ANCAN = anunciador de "conversor anormal" aceso.
 ANFEA = anunciador de "freio de estacionamento aplicado" aceso.
 DDSF2 = disjuntor de DSF do Módulo-2 ligado.
 FACOP = fusível de acoplamento intacto.
 EMEPN = emergência de primeiro nível.
 VATCR = "velocidade ATC redução".

OPERM = "operação manual".
 TRAP1 = tração do Módulo-1 operante (vide item 2.5.5).
 TRAP2 = tração do Módulo-2 operante (vide item 2.5.8).
 DSFSA = falha "DSF sempre aplicado".
 TRANO = falha "tração não-operante".
 TTRIL = 750 VDC no terceiro trilho.
 DCCS1 = disjuntor de COS do Módulo-1 ligado.

Temos ainda as expressões abaixo que fazem parte do algoritmo do DSF:

MSBRK = SGBRK /move sinal BRK para memória do sinal BRK/

Se TEDSF.AND.(.NOT.DTDSF) então FLDSF = .FALSE.

/se o "teste do DSF" já foi temporizado e o botão
 /de teste do DSF foi solto, habilita inicialização
 /novo teste/.

3.10. MODELAMENTO DO SISTEMA DE PORTAS DA DIREITA

No Modelo foram eliminadas algumas peças que fazem parte do sistema de portas do trem real. Estas peças são:

- . chave do comando de portas.
- . válvula pneumática de abertura de portas.

Cada abertura ou fechamento do sistema de portas causa uma queda de 1,5 psi na pressão da tubulação de freios. As portas abrem-se quando acionado o botão de abertura de portas, ou quando é acionada a alça de abertura de portas, ou quando é comandada a abertura automática pela Parada Programada.

Quando há problema nas portas, estas não obedecem aos comandos, permanecendo como estejam. Uma vez sanado o problema as portas voltam a operar normalmente.

Deve-se ressaltar que os comandos de abertura e fechamento em caso de inválidos, não alterarão o estado das portas. Se abertas continuam abertas, e se fechadas continuam fechadas.

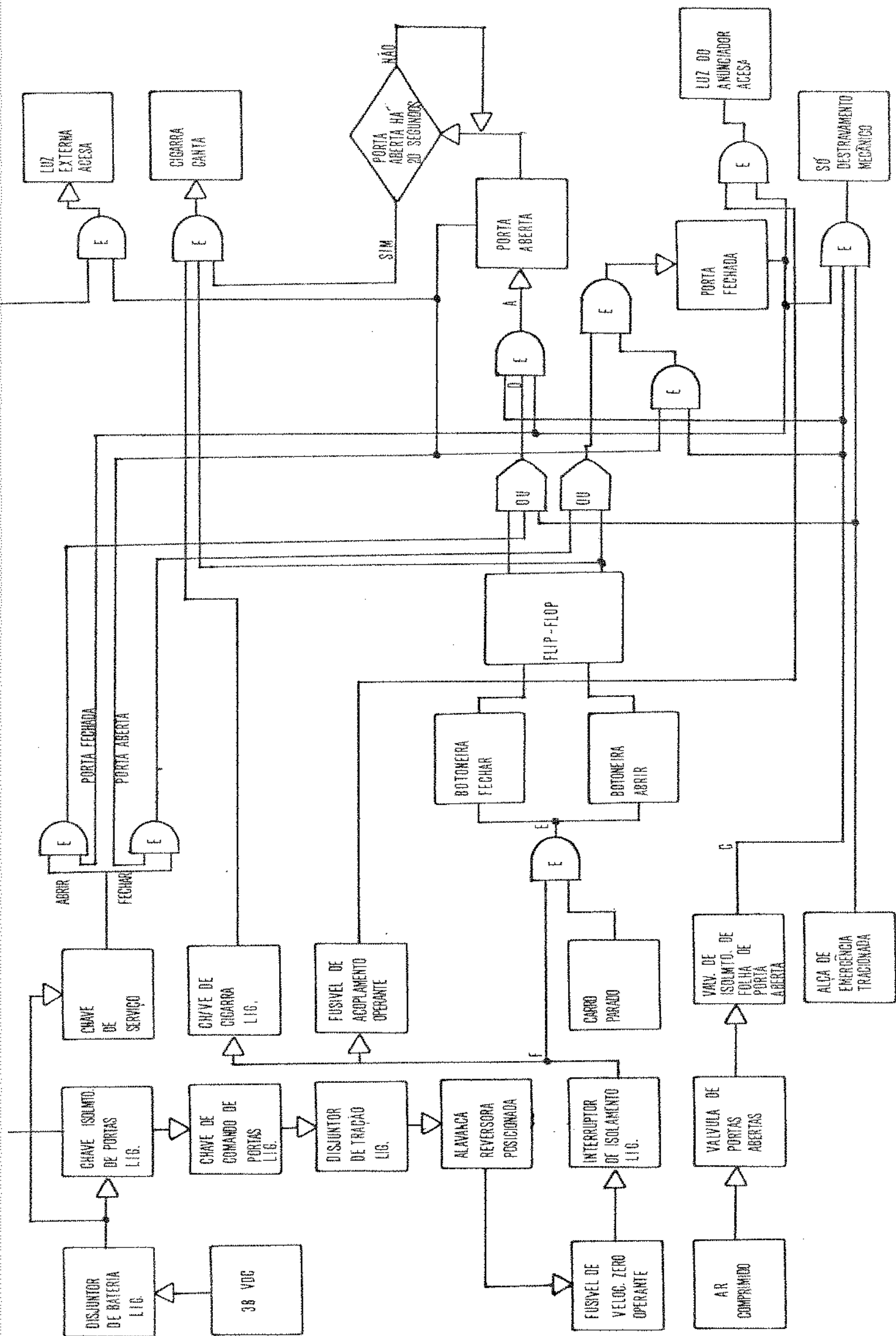


FIG. 3.5 - Lógica do Sistema de Portas.

As seguintes expressões booleanas descrevem a lógica do sistema de abertura e fechamento de portas:

```

MEPTD = PTABD
CONTO(19) = BGCP1.OR.BGCP2
CONTO(20) = CHPTD
CONTO(38) = .NOT.(BIFPN.OR.BIFPL)
F = (TENDC.AND.DBAT1.AND.DBAT2.AND.DTRC1.AND.DTRC2.AND.(.NOT.
    ALRNE).AND.FVZRO).AND.(.NOT.PTPBL.OR.CONTO(19)).AND.
    (.NOT.PTCSE.OR.CONTO(19)).AND.(.NOT.PTSSE.OR.CONTO(20).OR.
    CONTO(19)).AND.(.NOT.PTPBE.OR.CONTO(38))
E = CPRDO.AND.F
D = (BABPD.OR.ABRAT).AND.BIFPL.AND.E.OR.(CHSAB.AND.PTFDD).OR.
    (ALCTR.AND.BIFOL.OR.BIFPN)
CONTO(21) = VISOL
C = TBCAR.AND.(.NOT.BTPBP.OR.CONTO(21))
A = PTFDD.AND.C.AND.D
ABRED = A.OR.(PTBE.OR.PTPBP).AND.BATPT) /requisição de abertura
PTABD = PTABD.OR.ABRED. /de porta/
PTFDD = .NOT.PTABD
FECHD = (E.AND.BFP'D.OR.CHTPR.AND.PTABD).AND.PTABD.AND.C
FECHD = FECHD.OR.FCHAU.OR.((PTPBE.OR.PTPBP).AND.BFTPT) /requisi
    /ção de fechamento de por
    /tas/.

```

Esta é apenas a parte combinacional da lógica de acio namento do sistema de portas. Temos ainda uma parte sequencial re ferente à abertura automática de portas, que uma vez abertas de vem fechar-se após 20 segundos, e ainda devem sofrer um atraso de 3 segundos após dada a ordem de fechamento. Durante esses 3 segundos soará o alarme de portas, que silenciará logo a seguir.

Toda a simulação de falhas no sistema de portas foi con centrada no sistema de portas da direita, de vez que é irrelevante se o defeito ocorre nas portas da direita ou nas da esquerda. Assim, mais uma vez, procurou-se atingir a minimização de complexi dade do sistema.

Segue-se abaixo o algoritmo de fechamento de portas e acionamento do alarme:

Se FECHD.AND.PTABD /se requisitado fechar e portas da direita a
bertas/

então

início

Se .NOT.FLCGD /se fechamento não inicializado/

então

início /inicialização do fechamento/

CIGPT = .TRUE. /cigarra ligada/

TPCGD = .FALSE.

FLCGD = .TRUE.

VTEMP(1) = TREAL + 30 /instante de tempo-real
/em que portas devem fe

fim

/char/

senão

início /finaliza toque cigarra e fecha portas/

PTFDD = TPCGD.AND.FECHD

PTABD = .NOT.PTFDD

CIGPT = .NOT.TPCGD

FECHD = PTABD

FLFAU = PTABD.OR.PTABE

FLCGD = PTABD

fim

fim

Se (PTABD.OR.PTABE).AND.(.NOT.FLFAU).AND.AUTOM

então /inicializa fechamento automático das portas direitas
/e esquerdas/

início

TFAUT = .FALSE.

FLFAU = .TRUE.

VTEMP(2) = TREAL + 200 /instante de tempo-real em que
/deve ser iniciado o fechamento/

fim

FCHAU = E.AND.TFAUT.AND.(PTABE.OR.PTABD).AND.C /requisição de fe
/chamento automã
/tico de portas/
ANPTA = .NOT.(PTCSE.OR.PTSSE).AND.PTFDD.AND.PTFDE.AND.
(BIFPL.OR.BIFPN).AND.FACOP /acionamento do anunciador
/de portas/
LMPVM = .NOT.PTSSE.AND.(PTABD.OR.PTABE).AND.(.NOT.BGCP1).AND.
(BIFPL.OR.BIFPN) /acionamento da lâmpada vermelha de
/sinalização externa/
LMPAM = (.NOT.DCCS1.AND.TTRIL) /lâmpada amarela de sinalização
/externa/
LMPVD = (MANUA.AND.(VELOC.GT.0)).OR.ALRNE.OR.DSFSA /lâmpada ver
/de externa
LMPAZ = FFREM.OR.(.NOT.DFRE1) /lâmpada azul externa/

Descrição das variáveis

MEPTD = memória do estado das portas da direita.
PTABD = "flag" de portas da direita abertas.
BGCP1 = botão geral de comando de portas do Módulo-1 ligado.
BGCP2 = botão geral de comando de portas do Módulo-2 ligado.
CHPTD = chave de portas derivar ligada.
BIFPN = botão de isolamento de folha de portas em "neutro".
BIFPL = botão de isolamento de folha de portas em "ligado".
TENDC = 38 VDC alimentando o console.
DBAT1 = disjuntor de bateria do Módulo-1 ligado.
DBAT2 = disjuntor de bateria do Módulo-2 ligado.
DTRC1 = disjuntor de tração do Módulo-1 ligado.
DTRC2 = disjuntor de tração do Módulo-2 ligado.
ALRNE = alavanca reversora em neutro.
FVZRO = fúsível de velocidade zero intacto.
PTPBL = botão do painel do instrutor que simula a falha "folha
de porta com problema sem solução".
PTCSE = porta com problema. Anunciador de porta não acende e acen
de sinalização externa.
PTSSE = idem, sem sinalização externa.
PTPBE = porta não fecha por problema elétrico.

CPRDO = carro parado.
BABPD = botão de abertura de portas da direita acionado.
ABRAT = "flag" que indica abertura automática de portas.
CHSAB = chave de serviço em "abrir".
PTFDD = portas da direita fechadas.
ALCTR = alça de emergência tracionada.
VISOL = válvula de isolamento de folha de portas fechadas.
TBCAR = tubulação de freio carregada.
BTPBP = botão do painel do instrutor que simula a ocorrência de problema pneumático em folha de porta.
BATPT = botão do painel de portas que simula abertura manual de folha de portas.
ABRED = requisição de abertura de portas da direita.
FECHD = requisição de fechamento das portas da direita.
BFPTD = botão de fechamento de portas da direita acionado.
CHTPR = chave do painel do instrutor que indica a ocorrência da falha "tempo de parada programada infinito".
FCHAU = requisição de fechamento automático de portas.
BFTPT = botão do painel de portas que simula fechamento manual de folha de portas.
FLCGD = "flag" que indica que a temporização de 3 seg. para o fechamento das portas da direita já foi inicializado.
CIGPT = cigarra de portas soando.
TPCGD = "flag" que indica que a temporização do fechamento está em curso.
VTEMP(1) = Instante de Tempo Real em que a cigarra silenciará e as portas fecharão.
FLFAU = "flag" indicador de que a temporização da parada programada foi inicializada.
PTABE = portas da esquerda abertas.
AUTOM = trem no modo automático.
TFAUT = "flag" indicador de que a temporização de parada programada já acabou.
VTEMP(2) = instante de tempo-real em que a parada programada terminará.
TREAL = tempo-real em décimos de segundo.
ANPTA = anunciador de portas aceso.

FACOP = fusível de acoplamento intacto.
 LMPVM = lâmpada vermelha de sinalização externa.
 LMPAM = lâmpada amarela de sinalização externa.
 DCCS1 = disjuntor de CCS do Módulo-1 ligado.
 TTRIL = 750 VDC alimentando o terceiro trilho.
 LMPVD = lâmpada verde de sinalização externa acesa.
 MANUA = trem no modo manual.
 VELOC = velocidade do trem em mm/seg.
 DSFSA = botão do painel do instrutor que simula a falha "DSF sem
pre aplicado".
 LMPAZ = lâmpada azul de sinalização externa acesa.
 FFREM = "flag" indicador da ocorrência da falha "freio falha re
moção".
 DFREL = disjuntor de freio do Módulo-1 ligado.

3.11. MODELAMENTO DO SISTEMA DE PORTAS DA ESQUERDA

O sistema de portas da esquerda é análogo ao da direi
ta, só que não tem as partes referentes a defeitos de portas; tem
porização de parada programada; fechamento automático de portas;
 e acionamento da sinalização externa do trem.

As portas da esquerda podem ser abertas pelo botão de
 abertura de portas da esquerda, ou pela abertura automática de
 portas em caso de parada programada, ou acionando-se a alça de a
bertura de portas. E as portas da esquerda podem se fechadas ape
nas pelo botão de fechamento de portas da esquerda ou pelo fecha
mento automático comandado pela parada programada.

Algoritmo

```

MEPTE = PTABE
F = TENDC.AND.DBAT1.AND.DBAT2.AND.DTRC2.AND.(.NOT.ALRNE)
E = (CPRDO.OR.JPROU).AND.F
D = (BABPE.OR.ABRAT).AND.E.OR.ALCTR
C = TBCAR
A = PTFDE.AND.C.AND.D
ABREE = A
  
```

PTABE = PTABE.OR.ABREE

PTFDE = .NOT.PTABE

ABRAT = .FALSE.

FECHE = E.AND.BFPTE.AND.PTABE.AND.C

FECHE = FECHE.OR.FCHAU

Se FECHE.AND.PTABE /se requisitado fechar e portas da esquer-
então /da abertas.../

início

CIGPT = .TRUE. /cigarra acionada/

TPCGE = .FALSE.

FLCGE = .TRUE.

VTEMP(3) = TREAL + 30 /instante de tempo-real em que
/as portas da esquerda devem fe

fim

/char./

senão /finaliza toque da cigarra e fecha portas ao ser

início /atingido o instante de fechamento/

PTFDE = TPCGE.AND.FECHE

PTABE = .NOT.PTFDE

CIGPT = .NOT.TPCGE

FECHE = PTABE

FLCGE = PTABE

fim

fim

3.12. ACIONAMENTO DOS COMPRESSORES

O modelamento do sistema de reservatórios de ar foi feito levando-se em conta apenas as constantes de tempo medidas empiricamente no equipamento real, constantes de tempo essas referentes ao carregamento da tubulação de freios e a um eventual vazamento nas tubulações de freio.

O tempo de enchimento dos reservatórios de freios é de 90 seg., e em caso de falha dos compressores o ar do reservatório principal deve ser suficiente para manter os reservatórios de freios acima de 90 psi por uma viagem completa.

Fazendo-se uma aproximação linear do fluxo de ar entre os reservatórios, um reservatório principal com o dobro do tamanho do reservatório de freio implicaria em que um aumento de 2 psi, no reservatório de freios faria baixar de 1 psi a pressão no reservatório principal. E fazendo-se a taxa de enchimento do reservatório principal suficientemente alta, garante-se que sua pressão ficará sempre entre 130 e 150 psi, conforme no trem real. A taxa de enchimento proporcional ao número de compressores possibilita a simulação de operação com um ou mais compressores parados.

Enchimento do Reservatório Principal:

$$\Delta P = 2 * N^{\circ} \text{ compressores funcionando } [\text{PSI/SEG}]$$

Enchimento do Reservatório de Freio

$$\Delta P = +4 [\text{PSI/SEG}] ; \text{ ou } \Delta P = + 0,4 [\text{PSI/100ms}]$$

O que implica em um esvaziamento do reservatório principal de:

$$\Delta P = -2 [\text{PSI/SEG}] , \text{ ou } \Delta P = -0,2 [\text{PSI/100ms}]$$

Algoritmo

```

Se (COMP1.OR.COMP2) /se os compressores dos Módulos 1 e 2 es
então /tão funcionando.../
início
    Se (ARCMP.LT.1300).AND.FLEME /se pressão no reservatô
então CMPRS = .TRUE. /rio principal é menor que
senão /130 psi então liga compres
início /sores/
    Se ARCMP.GT.1500 /se a pressão no reservatô
então CMPRS=.FALSE. /rio principal é
/maior que 150 psi, des
/liga compressores/
    fim
fim

```

senão CMPRS = .FALSE.

Se CMPRS então ARCOMP = ARCOMP + 2 * NCMPR /se compressores ligados, calcula incremento /de pressão no reservatório /principal/.

onde:

COMP1 = compressor do Módulo-1 apto a funcionar.

COMP2 = compressor do Módulo-2 apto a funcionar.

ARCOMP = pressão no reservatório principal, em décimos de psi.

FLEME = "flag" que indica que não ainda não se passaram 20 segundos desde que o trem entrou em emergência.

CMPRS = "flag" que indica que os compressores devem ser acionados.

NCMPR = número de compressores ativos na composição, designado por uma chave de três posições situada no painel do instrutor.

A taxa de carregamento do reservatório principal deve ser ajustada empiricamente, quando dos testes em tempo-real.

Obs: A pressão do reservatório principal está escalonada em décimos de psi, e como a unidade de tempo é o décimo de segundo, temos nas expressões $PSI/10 \div SEG/10 = \frac{PSI}{SEG}$

3.13. CARREGAMENTO DA TUBULAÇÃO DE FREIOS

A tubulação de freios deve ser carregada por um ou dois botões de carregamento simultaneamente, dependendo da situação. O carregamento de tubulação de freios, é a uma taxa de:

$$\Delta P = +4 [PSI/SEG] = +0,4 [PSI/100ms]$$

E seu esvaziamento se faz pelos cilindros de freios, a uma taxa:

$$\Delta P = -4 \text{ [PSI/SEG]} = -0,4 \text{ [PSI/100ms]}$$

Algoritmo

Se (VZTBF.AND.(NCARR.LE.4)).OR.(VZUOP.AND.(NCARR.EQ.1))

então BTCMP = BTBF1.AND.BTBF2.AND.FLEME /sõ carrega apertan
os dois botões/

senão BTCMP = (BTBF1.AND.(.NOT.((VZTBF.OR.VZNL).AND.
(NCARR.EQ.(1.OR.2))))).OR.BTBF2).AND.FLEME /car
/rega por qualquer botão/.

Se (BTCMP.OR.TBCAR).AND.(PREFR,GT.PTBFR) /se pressão reservatório
então /de freio maior que a da tubulação de freio, trans
início /fere ar do reservatório para a tubulação/.

PTBFR = PTBFR + 4 /enchimento da tubulação freio a 4
/psi/seg./

PREFR = PREFR - 3 /esvaziamento reservatório freio a
/3 psi/seg./

fim

Se PREFR.LT.PTBFR então PTBFR = PREFR /se pressão da tubulação
/maior que a do reservatório, i
/igual ã do reservatório/.

onde:

VZUOP = vazamento de ar na UOP.

NCARR = número do carro correspondente ao Módulo-2, se maior que 1; e ao Módulo-1, se igual a 1.

BTCMP = "flag" que indica que o carregamento da tubula
ção foi autorizado.

BTBF1 = botão de carregamento da tubulação de freio lo
calizado no console do operador.

BTBF2 = botão de carregamento da tubulação de freio lo
calizado no console do instrutor.

FLEME = "flag" que indica que ainda não se passaram 20
segundos desde que o trem entrou em emergência.

VZNLC = vazamento não localizado.

TBCAR = tubulação de freio carregada.

PREFR = pressão no reservatório de freio, em décimos de psi.

PTBFR = pressão na tubulação de freio em décimos de psi.

Obs: As pressões da tubulação de freios e do reservatório de freios também estão escalonadas em décimos de psi.

3.14. CARREGAMENTO DO RESERVATÓRIO DE FREIOS

O reservatório de freios recebe ar do reservatório principal, e aumenta de pressão a uma taxa de:

$$\Delta P = 0,4 \text{ [PSI/100ms]} = 4 \text{ [PSI/SEG]}$$

O que faz a pressão do reservatório principal baixar a uma taxa de:

$$\Delta P = -0,2 \text{ [PSI/100ms]} = -2 \text{ [PSI/SEG]}$$

Algoritmo

Se (ARCMP.GT.PREFR).AND.(ARCMP.GT.0)

então

início

PREFR = PREFR + 4 /enchimento reserv.freio a 4 psi/seg/

ARCMP = ARCMP - 2 /esvaziamento reserv.principal a 2
psi/seg/.

fim

onde:

ARCMP = pressão no reservatório principal, em décimos de psi.

PREFR = pressão no reservatório de freios em décimos de psi.

Deve-se considerar o efeito do abrir e fechar de portas no sistema pneumático. Uma vez que não foi simulado o reservatório de portas, retirar-se-á o ar do reservatório de freio diretamente, o que dará o mesmo efeito na agulha branca do manômetro.

Algoritmo

Se MEPTD.NE.PTABD então PREFR = PREFR - 15

Se MEPTE.NE.PTABE então PREFR = PREFR - 15

onde:

MEPTD = memória do estado anterior das portas da direita.

PTABD = portas da direita abertas.

MEPTE = memória do estado anterior das portas da esquerda.

PTABE = portas da esquerda abertas.

PREFR = pressão do reservatório de freios, em décimos de psi.

3.15. CARREGAMENTO DOS CILINDROS DE FREIO

Os cilindros de freio recebem ar do reservatório de freio a uma taxa de:

$$\Delta P = 4,0 \text{ [PSI/100ms]} = 40 \text{ [PSI/SEG]}$$

O que faz a pressão no reservatório de freio cair a uma taxa de:

$$\Delta P = -0,4 \text{ [PSI/100ms]} = -4 \text{ [PSI/SEG]}$$

E os cilindros de freio liberam ar para a atmosfera a uma taxa de:

$$\Delta P = -2 \text{ [PSI/100ms]} = -20 \text{ [PSI/SEG]}$$

A taxa de enchimento dos cilindros de freio é de 40 psi/seg, e a taxa de esvaziamento é de 20 psi/seg. A discretização no tempo é de 100ms.

PDCFR = pressão desejada nos cilindros de freio.

PCIFR = pressão atual nos cilindros de freio.

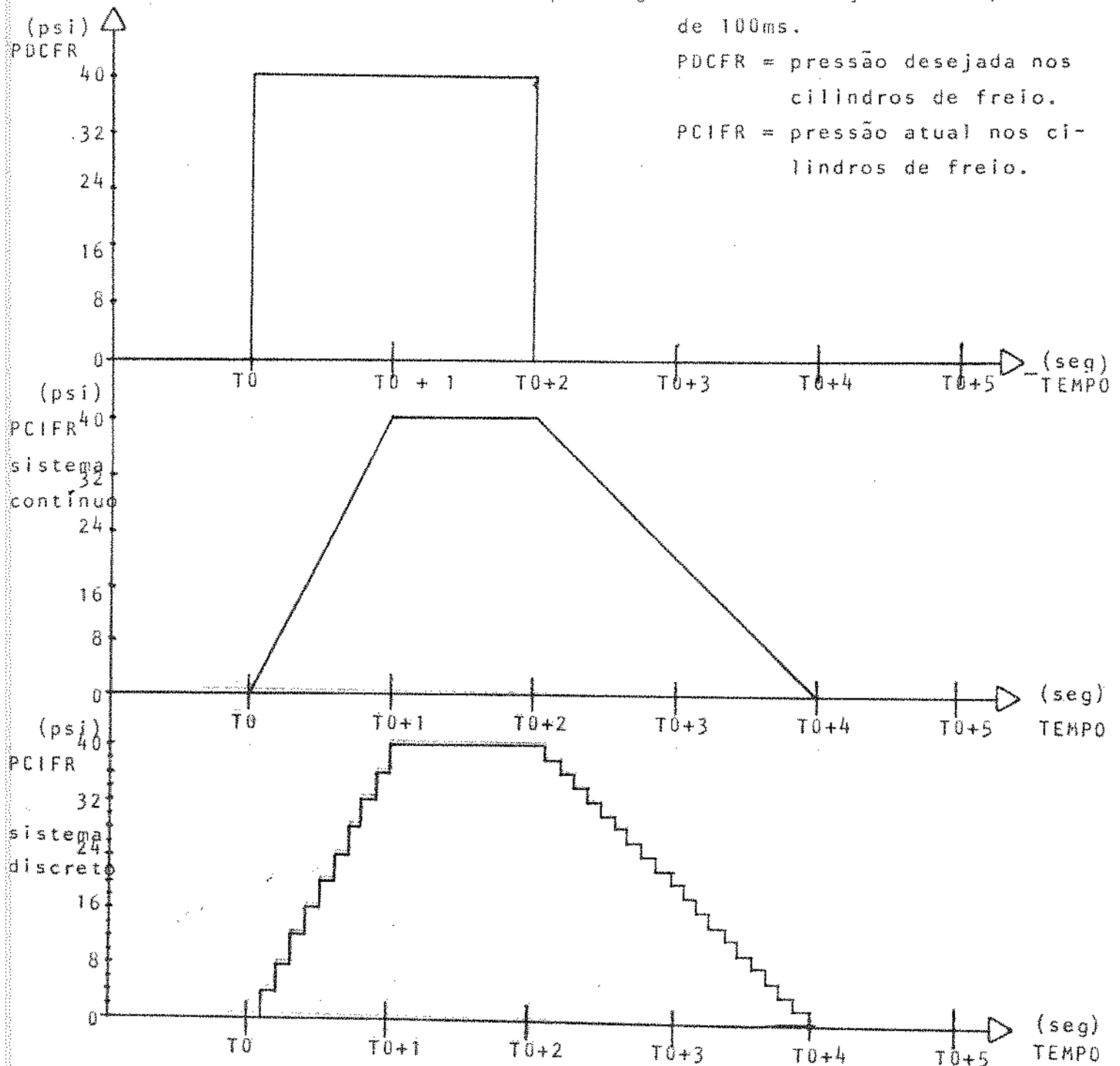


FIG. 3.6 - Comportamento Dinâmico dos Cilindros de Freio.

Algoritmo

Se (PDCFR.GT.PCIFR).AND.(PREFR.GT.PCIFR)

então

início

PCIFR = PCIFR + 4 /cilindros enchem-se a 40 psi/seg/

PREFR = PREFR - 4 /reserv.freio esvazia-se a 4 psi/
/seg/.

fim

Se PDCFR.LT.PCIFR

então PCIFR = PCIFR - 2 /cilindros esvaziam-se a 20 psi/seg/

onde:

PDCFR = pressão desejada nos cilindros de freio.

PCIFR = pressão nos cilindros de freio, em psi.

PREFR = pressão no reservatório de freio, em décimos de
psi.

Obs: A pressão nos cilindros de freio está escalonada em psi.

3.16. OUTRAS FUNÇÕES DO SISTEMA PNEUMÁTICO

/Se o trem está em emergência e a tubulação não está sendo

Se FREEM.AND.(.NOT.BTCMP) então PTBFR = PTBFR - 60 /carregada esva

Se PTBFR.LT.0 então PTBFR = 0 /zia a tubulação de freio/

Se BOLAV.AND.(PTBFR.GE.700) então FLBLV = FLEME /quando se tenta

Se BOLAV.AND.FLBLV /carregar a tubulação com a bola verme

/lha acionada, a pressão sobe até 70

então

/psi e cai a 0).

início

PREFR = PREFR - 8 /esvazia reserv.freio a 8 psi/seg./

ARCMP = ARCMP - 10 /esvazia reserv.principal a 10 psi/seg/

fim

Se .NOT.BOLAV.OR.((PREFR.LE.5).AND.(.NOT.BTCMP)) então

FLBLV = .FALSE.

```

Se FREEM.AND.(.NOT.TEMER) /se emergência e não se passaram 20/
  então /segundos, inicia temporização de 20 seg.
  início
    TEMER = .TRUE.
    FLEME = .FALSE.
    VTEMP (6) = TREAL+ 200
  fim

Se .NOT.FREEM então TEMER = .FALSE. /se emergência foi removida,/
Se ARCMP.LT.0 então ARCMP = 0 /habilita rotina para nova inicia/
Se PREFR.LT.0 /lização/
  então /quando os erros de arredondamento/
  início /fizerem com que uma pressão qual-/
    PREFR = 0 /quer atinja valores negativos, faz/
    PTBFR = 0 /-se que assumam o valor mínimo /
  fim /zero (0)./

Se PCIFR.LT.0 então PCIFR = 0
Se ((BIT1E.AND.(EMEPN.OR.FREEM)).OR.(BIT1P.AND.FREEM).OR.BIT1N).
  AND.(.NOT.VAV61)
  então PCIF1 = PCIFR /se o freio de serviço está isolado no/
  senão PCIF1 = 0 /Módulo-1, só funciona nas emergências/
Se ((BIT2E.AND.(EMEPN.OR.FREEM)).OR.(BIT2P.AND.FREEM).OR.BIT2N).
  .AND.(.NOT.VAV62) /idem Módulo-2/
  então PCIF2 = PCIFR
  senão PCIF2 = 0
Se PCIFR.EQ.0 então FRALI = .TRUE. /"flag" é ativado quando os/
  senão FRALI = .FALSE. /freios são aliviados./

```

onde:

- FREEM = trem em emergência.
- BTCMP = "flag" que indica acionamento correto do carregamento da tubulação de freio.
- PTBFR = pressão da tubulação de freio, em décimos de psi.
- BOLAV = bola vermelha acionada.
- FLBLV = "flag" que indica que se tentou carregar a tubulação de freio com a bola vermelha acionada

e a pressão ultrapassou setenta psi.

FLEME = "flag" que indica que já se passaram mais de 20 segundos desde o início da emergência.

ARCMP = pressão no reservatório principal, em décimos de psi.

TEMER = "flag" que indica que estão sendo temporizados os 20 segundos após o trem ter entrado em emergência.

VTEMP(6) = Instante de tempo real em que se terão passado 20 segundos desde a entrada em emergência.

TREAL = tempo-real, em décimos de segundo.

PCIFR = pressão nos cilindros de freio, em psi.
(pressão base de cálculos de frenagem).

BIT1E = botão de isolação de freio do Módulo-1 em "elétrico".

BIT1P = botão de isolação de freio do Módulo-1 em "pneumático".

BIT2E = botão de isolação de freio do Módulo-1 e, "elétrico".

BIT2P = botão de isolação de freio do Módulo-2 em "pneumático".

BIT1N = botão de isolação de freio do Módulo-1 em "normal".

BIT2N = botão de isolação de freio do Módulo-2 em "normal".

EMEPN = emergência de primeiro nível.

PCIF1 = pressão nos cilindros de freio do Módulo-1, em psi.

PCIF2 = pressão nos cilindros de freio do Módulo-2, em psi.

FRALI = "flag" que indica que os freios estão aliviados.

3.17. CÁLCULO DO MOVIMENTO DO TREM

As três componentes do movimento do trem são a Aceleração; a Velocidade; e o Deslocamento.

De cem em cem milissegundos será efetuada uma amostragem dos sinais provindos da "cabine" do Simulador, bem como serão atualizados os sinais que são fornecidos à cabine pelo Modelo.

Os sinais P e BRK é que determinam aceleração e frenagem do trem. Serão convertidos para a forma digital por um conversor de 8 bits, sendo um bit para diferenciar aceleração (sinal P) de frenagem (sinal BRK), sobrando assim 7 bits para codificar a magnitude do sinal.

Para se evitar o uso de subrotinas de ponto-flutuante, escalonou-se todas as variáveis de modo a se ter uma precisão de cálculo aceitável usando-se apenas as quatro operações elementares em dezesseis bits disponíveis no microprocessador INTEL-8086.

3.17.1. Cálculo da Aceleração do Trem

A aceleração do trem pode ser tanto positiva quanto negativa, conforme se origine da aplicação de tração ou frenagem, respectivamente. No caso de aplicação de tração temos:

. As equações do movimento são:

$$A = K_1 * \text{SIGNP} \quad \text{para VELOC menor que 60 Km/h.}$$

$$A = K_1 * \text{SIGNP} + K_2 * (60 \text{ Km/h} - \text{VELOC}) \quad \text{para VELOC maior que 60 Km/h.}$$

Temos os seguintes dados fornecidos pelo fabricante do trem:

$$A_{\min} = 0 \text{ m/seg}^2.$$

$$A_{\max} = 1,12 \text{ m/seg}^2. \quad \text{para VELOC menor ou igual a 60 Km/h.}$$

De 60 a 100 Km/h a aceleração máxima cai linearmente, atingindo $0,2 \text{ m/seg}^2$ à 100 Km/h. O sinal P varia de 0 a 127.

Daí se ter:

$$1,12 \text{ m/seg}^2 = 1120 \text{ mm/seg}^2.$$

$$60 \text{ Km/h} = 16666 \text{ mm/seg}.$$

$$A_{\text{max}} = \text{SIGNP}_{\text{max}} * K_1 = 1120$$

$$\therefore 127 * K_1 = 1120$$

$$\therefore K_1 = \frac{1120}{127}$$

$$\therefore K_1 = \frac{112}{12} \text{ para VELOC menor ou igual a } 60 \text{ Km/h.}$$

$$A_{\text{max}} \text{ } 100 \text{ Km/h} = 0,2 \text{ m/seg}^2 = 200 \text{ mm/seg}^2.$$

$$100 \text{ Km/h} = 27777 \text{ mm/seg}.$$

$$\therefore K_1 * \text{SIGNP} + K_2 * (60 \text{ Km/h} - \text{VELOC}) = A$$

$$= \frac{112}{12} * 127 + K_2 * (16666 - 27777) = 200 \text{ mm/seg}^2.$$

$$\therefore K_2 = 0,9 = \frac{9}{10}$$

$$\therefore \text{ACELE} = A = \text{SIGNP} * \frac{112}{12} + 9 * \frac{(16666 - \text{VELOC})}{100}$$

para velocidades maiores que 60 Km/h.

No caso de aceleração negativa (frenagem), tem-se:

. Pressão máxima dos cilindros de freio = 45 psi.

. Pressão mínima dos cilindros de freio = 10 psi.

A menos de 10 psi as pastilhas de freio não encostam nos discos, não havendo frenagem.

. Aceleração à pressão de 45 psi = $-1,5 \text{ m/seg}^2$.

. Aceleração à pressão de 10 psi = $-X \text{ m/seg}^2$.

Daí:

$$X = \frac{15}{45} = \frac{1}{3} = 0,333 \text{ mm/seg}^2.$$

$$\therefore \text{ACELE} = A = -(\text{PCIFR} * 1500/45) \text{ mm/seg}^2.$$

onde:

ACELE = aceleração do trem, em mm/seg.

PCIFR = pressão nos cilindros de freio, em psi.

SIGNP = magnitude do sinal P, variando de 0 a 127.

VELOC = velocidade do trem, em mm/seg.

3.17.2. Cálculo da Velocidade do Trem

A velocidade do trem é obtida através da integração da aceleração. Como é feita uma amostragem da aceleração em instantes de tempo discretos, podemos assumir que a aceleração permanece constante entre duas amostragens consecutivas, tendo-se então.

$$\text{VELOC} = \text{VELOC}_0 + \text{ACELE} * T \quad ; \quad \text{onde } T = \text{intervalo de tempo entre duas amostragens consecutivas.}$$

Para $T = 0,1$ seg. temos:

$$\text{VELOC} = \text{VELOC}_0 + \text{ACELE} * 0,1 = \text{VELOC}_0 + \frac{\text{ACELE}}{10} \quad \text{mm/seg.}$$

onde:

VELOC = velocidade do trem em mm/seg.

VELOC₀ = velocidade do trem na amostragem anterior.

ACELE = aceleração do trem em mm/seg.

3.17.3. Cálculo do Deslocamento do Trem

O deslocamento resulta da integração dupla da aceleração:

$$S = S_0 + V * T + \frac{1}{2} * A * T^2$$

$$\text{DISTC} = \text{DISTC} + (\text{VELOC} + \text{ACELE}/20)/10 \quad \text{mm.}$$

onde:

S_0 = posição do trem na amostragem anterior.
 S = posição do trem no instante atual.
 V = velocidade do trem no instante anterior.
 A = aceleração do trem no instante anterior.
 $DISTC$ = posição do trem em mm.
 $VELOC$ = velocidade do trem, em mm/seg.
 $ACELE$ = aceleração do trem, em mm/seg².
 T = intervalo de tempo entre duas amostragens consecutivas, em décimos de segundo.

Como o percurso de uma viagem do trem pelo Metrô é muito longo, apenas dezesseis bits não seriam suficientes para a contagem do deslocamento, daí porque se ter usado um acumulador em metros:

Se $DISTC.GT.1000$

então

início

$POSIC = POSIC + DISTC/1000$

$DISTC = DISTC - (DISTC/1000) * 1000$

fim

onde:

$DISTC$ = distância percorrida, em mm.

$POSIC$ = distância percorrida, em m.

3.18. ROTINA DE TEMPORIZAÇÃO DE EVENTOS

Todas as temporizações são efetuadas comparando-se o instante em que deve ocorrer o evento com o tempo-real e ligando-se o "flag" referente, quando o tempo-real tiver ultrapassado o valor de tempo previamente assinalado.

Algoritmo

Se $VTEMP(1).LT.TREAL$ então $TPCGD=.TRUE./$ fechamento portas dir/.

Se $VTEMP(2).LT.TREAL$ então $TFAUT=.TRUE./$ fechamento portas aut/.

Se $VTEMP(3).LT.TREAL$ então $TPCGE=.TRUE./$ fechamento portas esq/.

Se VTEMP(4).LT.TREAL então TFREM=.TRUE. /freio falha remoção. /
Se VTEMP(5).LT.TREAL então TFAPL=.TRUE. /freio falha aplicação /
Se VTEMP(6).LT.TREAL então FLEME=.TRUE. /freio de emergência. /
Se VTEMP(7).LT.TREAL então TEDSF=.TRUE. /teste do DSF. /

onde:

VTEMP(1) = instante de tempo em que findará o atraso de 3 segundos para o fechamento das portas da direita.

TPCGD = "flag" indicador de que o atraso já ocorreu.

VTEMP(2) = instante de tempo em que terá terminado a parada programada.

TFAUT = "flag" que indica que o tempo de parada programada terminou.

VTEMP(3) = instante de tempo em que terá findado o atraso de no fechamento das portas da esquerda.

TPCGE = "flag" que indica que o atraso do fechamento das portas da esquerda já ocorreu.

VTEMP(4) = instante de tempo em que terminará o teste de "freio falha remoção".

TFREM = "flag" indicador de que terminou o teste de "freio falha remoção".

VTEMP(5) = instante de tempo em que terminará o teste de "freio falha aplicação".

TFAPL = "flag" indicador de que já acabou o teste de "freio falha aplicação".

VTEMP(6) = instante de tempo em que findará o período de 20 segundos após o trem ter entrado em emergência.

FLEME = "flag" que indica que findou o atraso de 20 segundos após o trem ter entrado em emergência.

VTEMP(7) = instante de tempo em que se terão passado 4 segundos após ter sido pressionado o botão de teste do DSF.

TEDSF = "flag" indicador de que já passaram 4 segundos após ter sido pressionado o botão de teste do DSF.

Capítulo IV

"MODELAMENTO DAS FALHAS DO TREM"

4.1. INTRODUÇÃO

A Simulação das falhas dos sistemas de freio e pneumático pode ser considerada a principal razão de ser do Simulador. A principal função do operador de trem é agir na solução de falhas, as quais assumem maior importância quando afetam os sistemas de freio e pneumático. É natural, então, que o treinamento dos operadores de trem deva enfatizar a parte referente à solução de falhas, e com muito mais razão ainda quando se tratar de treinamento no Simulador, que possibilita a repetição de um grande número de falhas sem qualquer perigo para a integridade dos equipamentos ou para a vida dos ocupantes do trem.

4.2. MODELAMENTO DAS FALHAS DO SISTEMA DE FREIO

Uma grande série de falhas pode acontecer no sistema de freios. Algumas delas serão provocadas pela queda de disjuntores ou queima de fusíveis, que tem presença física no Simulador. Outras falhas não contam com um elemento físico no simulador que as possa causar, daí porque se adotou uma série de chaves no Painel do Instrutor que, uma vez acionadas, simulam o problema do elemento físico inexistente.

A maioria das falhas admite duas classes de solução: a eliminação da causa da falha, e uma solução paliativa, denominada "contorno" da falha, onde a causa da falha não é eliminada, mas o sistema continua funcionando com pelo menos parte de sua capacidade normal. Tais "contornos" serão representados pelos elementos do vetor "CONTO".

O botão de isolamento de freio dos módulos 1 e 2, uma vez colocado em "isolamento pneumático" não desarma o isolamento pneumático mesmo que colocado na posição "normal". Tal falha só pode ser sanada não-operacionalmente. Foi prevista uma chave no painel do instrutor para esta solução (RESET). Segue-se abaixo a descrição da lógica de funcionamento dos botões de isolamento de freio, das luzes de freio dos armários 1 e 2, e do acionamento dos

freios de emergência.

BIT1P = BIT1P.OR.MBT1P.AND.(.NOT.RESET) /botão de isolação de/
 MBT1P = BIT1P /freio do módulo 1 só de
 /sarma "pneumático" se/
 /"RESET" é acionado. /
 BIT2P = BIT2P.OR.MBT2P.AND.(.NOT.RESET) /idem botão de isolação/
 MBT2P = BIT2P /de freio do Módulo-2. /
 LARM1 = (PCIF1:GT.0).AND.(.NOT.FRALI) /luz de freio do Armário
 /1 acende. /
 LARM2 = (PCIF2:GT.0).AND.(.NOT.FRALI) /idem armário-2. /
 TUBUL = TBCAR.AND.(.NOT.BOLAV)
 EMEPN = .NOT.DDSF1 /queda de DDSF1 provoca/
 /emergência de 1º nível/
 FREEM = HMORT.AND.ACFRS.OR.ALRNE.OR.ACEME.OR.BOLAV.OR.(.NOT.TUBUL)
 /condições que provocam/
 /emergência. /

onde:

BIT1P = botão de isolação de freio do Módulo-1 em "pneu
 mático".
 MBT1P = memória do estado anterior de BIT1P.
 BIT2P = botão de isolação de freio do Módulo-2 em "pneu
 mático".
 MBT2P = memória do estado anterior de BIT2P.
 LARM1 = luz de freio do armário do Módulo-1.
 LARM2 = luz de freio do armário do Módulo-2.
 DDSF1 = disjuntor de DSF do Módulo-1 ligado.
 RESET = botão de rearme do freio dos módulos 1 e 2
 (painel do instrutor).
 PCIF1 = pressão nos cilindros de freio do Módulo-1.
 PCIF2 = pressão nos cilindros de freio do Módulo-2.
 FRALI = freios aliviados.
 TUBUL = partição da lógica da tubulação de freios x
 freios.(vide diagrama do sistema de freios).
 TBCAR = tubulação de freios carregada.
 BOLAV = bola vermelha acionada.

EMEPN = emergência de primeiro nível.
 FREEM = freio de emergência.
 HMORT = alavanca de "homem morto" acionada.
 ACFRS = alavanca de comando em "freio de serviço".
 ALRNE = alavanca reversora em "neutro".
 ACEME = alavanca de comando em "emergência".

4.2.1. Falha "Disjuntor de Caixa-Lógica Desarmado"

Causa : disjuntor de caixa lógica desarmado.
 Efeito : não alivia Máximo Freio de Serviço.
 Solução: rearmar o disjuntor ou mudar de cabine.

Algoritmo

CONTO(4) = NLIDR /chave seletora indicando mudança de cabine/
 FMAXS = .NOT.(FREI1.AND.FREI2).AND.(.NOT.(DCXLI2)).AND.
 (.NOR.CONTO(4))

4.2.2. Falha "Freio Falha Remoção - Isolação Elétrica"

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.
 Efeito : não alivia Máximo Freio de Serviço.
 Solução: colocar o botão de isolação de freio na posi-
 ção "elétrico".

Algoritmo

CONTO(3) = BITLE /botão de isolação de freio na posição "elétrico/
 co/
 FMAXS = FMAXS.OR.FFRIE.AND.(.NOT.CONTO(3))

4.2.3. Falha "Freio Falha Remoção" - Isolação Pneumática"

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.
 Efeito : não alivia Máximo de Serviço.
 Solução: colocar o botão de isolação de freio na posi-
 ção "pneumático".

Algoritmo

CONTO(34) = BIT1P /botão de isolação de freio na posição "pneumá
/tico/

FMAXS = FMAXS.OR.FFRIP.AND.(.NOT.CONTO(34))

Temos:

NLIDR = comando foi transferido para outro carro.
 FREI1 = sistema de freio do Módulo-1 ligado.
 FREI2 = sistema de freio do Módulo-2 ligado.
 DCXL1 = disjuntor de caixa-lógica do Módulo-1 ligado.
 DCXL2 = disjuntor de caixa-lógica do Módulo-2 ligado.
 BITLE = botão de isolação de freio na posição "elétrico".
 FFRIE = chave do painel do instrutor que informa ao Modelo que a falha "freio falha remoção - isolação" está correndo.
 BIT1P = botão de isolação de freio na posição "pneumático".
 FMAXS = máximo freio de serviço sendo requisitado à UOP.

4.2.4. Falha no "Train-Line" P e BRK

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.
 Efeito : não alivia Máximo Freio de Serviço.
 Solução: derivar os sinais P e BRK do Módulo-2 e isolar freio de serviço em "elétrico", ou pilotar em modo redundante.

4.2.5. Falha nos Geradores P e BRK

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.
 Efeito : não alivia Máximo Freio de Serviço.
 Solução: mudar de cabine. Acionar chave seletora "NLIDR".

Algoritmo de falha no "train-line e no gerador de P e BRK

```

CONTO(5) = (BIPB2.AND.BIT2E).OR.AMSAR.OR.MANUR
CONTO(6) = NLIDR.OR.AMSAR.OR.MANUR
FMAXS = FMAXS.OR.TLPBR.AND.(.NOT.CONTO(5)).OR.(GPBRK.AND.
      (.NOT.CONTO(6))).

```

Temos:

BIPB2 = botão de isolação de P e BRK do Módulo-2 acionado.

BIT2E = botão de isolação de freio na posição "elétrico".

AMSAR = trem no modo semiautomático-redundante.

MANUR = trem no modo manual-redundante.

NLIDR = comando foi transferido para outra cabine.

FMAXS = máximo freio de serviço sendo requisitado.

TLPBR = chave do painel do instrutor que simula a falha "train-line P e BRK interrompido".

GPBRK = chave do painel do instrutor que simula a falha "geradores de P e BRK não funcionam".

4.2.6. Falha no "Train-Line" BRK

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.

Efeito : não alivia Freio Mínimo de Serviço.

Solução: acionar botão de derivação de P e BRK do Módulo-2 e isolar freio de serviço, ou operar em modo redundante.

4.2.7. Falha no Gerador de BRK

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.

Efeito : não alivia Freio Mínimo de Serviço.

Solução: mudar de cabine ou operar em modo redundante.

Algoritmo das falhas no train-line e no gerador de BRK.

```

CONTO(7) = CONTO(5)

```

```

CONTO(8) = CONTO(6)
FMINS = TLBRK.AND.(.NOT.TLSGP).AND.(.NOT.CONTO(7)).OR.GRBRK.AND.
      (.NOT.GRSGP).AND.(NOT.CONTO(8))

```

Temos:

```

FMINS = requisição de freio mínimo de serviço.
TLSGP = chave do painel do instrutor que simula falha
       no train-line P.
GRBRK = chave do painel do instrutor que simula falha
       do gerador do sinal BRK.
TLBRK = chave do painel do instrutor que simula falha
       do train-line BRK.
GRSGP = chave do painel do instrutor que simula falha
       do gerador do sinal P.

```

4.2.8. Falha do TCR.

```

Causa : acionamento de chave do painel do instrutor.
Efeito : não alivia Freio Mínimo de Serviço.
Solução: acionamento do botão de portas derivar do Mo
       delo-1.

```

Algoritmo

```

CONTO(9) = BPTD1
FMINS = FMINS.OR.(FLTCR.AND.(.NOT.CONTO(9))

```

onde:

```

BPTD1 = botão de portas-derivar do Módulo-1.
FMINS = requisição de freio mínimo de serviço.
FLTCR = chave do painel do instrutor que simula a fa
       lha do gerador de TCR.

```

4.2.9. Falha "Portas Abertas nos Carros 2 a 5"

```

Causa : chave no painel do instrutor.
Efeito : não alivia Freio Mínimo de Serviço.
Solução: ligar Botão Geral de Comando de Portas do MÓ
       dulo-2.

```


Algoritmo

CONTO(10) = BGCP2

FMINS = FMINS.OR.(PTPBL.AND.PTABD.AND.(.NOT.CONTO(10)))

onde:

BGCP2 = botão de comando de portas do Módulo-2 ligado.

FMINS = requisição de Freio Mínimo de Serviço.

PTPBL = chave do painel do instrutor que simula porta com problema para fechar.

PTABD = porta aberta do lado direito.

4.2.10. Falha no Gerador P e no Train-Line P.

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.
(gerador P).

Efeito : não alivia freios de 30 psi.

Solução: operar em ATO ou mudar de cabine ou operar em modos redundantes.

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.
(train-line P):

Efeito : não alivia freios de 30 psi.

Solução: isolar P e BRK e freio de serviço do Módulo-1.

Algoritmo

CONTO(11) = CONTO(5)

CONTO(12) = NLIDR.OR.AUTOM.OR.AMSAR.OR.MANUR

F30PS = TSGP.AND.(.NOT.TLBRK).AND.(.NOT.CONTO(11)).OR

GRSGP.AND.(.NOT.GRBRK).AND.(.NOT.CONTO(12))

onde:

NLIDR = comando foi transferido para outra cabine.

AUTOM = trem operando em modo automático.

AMSAR = trem operando em modo semiautomático redundante.

MANUR = trem operando em modo manual redundante.

F30PS = requisitada pressão de 30 psi nos cilindros de freio.

TLSGP = chave que simula interrupção no train-line P ligada (painel do instrutor).

TLBRK = chave localizada no painel do instrutor, que simula interrupção no train-line BRK.

GRSGP = chave localizada no painel do instrutor, que simula interrupção no gerador de BRK.

GRBRK = chave do painel do instrutor que simula interrupção do funcionamento do gerador de sinal BRK.

4.2.11. Falha "Disjuntor de DSF do Carro-Líder Desarmado"

Causa : desarme do disjuntor de DSF do Módulo-1 através de chave no painel do instrutor.

Efeito : emergência de primeiro nível.

Solução: rearmar o disjuntor ou andar em manual ou manual redundante.

Algoritmo

CONTO(13) = MANUA.OR.MANUR

EMEPN = EMEPN.OR.(.NOT.(DDSF1.OR.CONTO(13)))

onde:

MANUA = trem operando no modo manual.

MANUR = trem operando no modo redundante.

EMEPN = solicitação de emergência de primeiro nível.

DDSF1 = disjuntor de DSF do Módulo-1 ligado.

4.2.12. Falha "Disjuntor de DSF desarmado nas unidades 2 ou 3"

Causa : queda do disjuntor de DSF do Módulo-2 e chave chave que designa o número do carro correspondente ao Módulo-2 em posição maior que 2.

Efeito : emergência de primeiro nível.

Solução: andar em manual ou, se isolar total e reduzir nível de desempenho para 86%, anda em MCS/ATO.

Algoritmo

```

CONTO(14) = (AUTOM.OR.SAUTO).AND.BTOTA.AND.(BTPCT.EQ.86)
EMEPN = EMEPN.OR.(NCARR.GE.3).AND.(.NOT.DDSF2).AND.(.NOT.MANUA).
      .AND.(.NOT.CONTO(14))

```

onde:

```

AUTOM = trem operando no modo automático.
SAUTO = trem operando no modo semiautomático.
BTOTA = botão de isolação total acionado.
BTPCT = valor da redução percentual em que o trem deve
      trafagar.
EMEPN = requisição de emergência de primeiro nível.
NCARR = número do carro associado ao Módulo-2.
DDSF2 - disjuntor de DSF do Módulo-2 ligado.

```

4.2.13. Falha "Disjuntor de Freio do Carro-Líder Desarmado"

É idêntica à falha provocada pela queda de disjuntor em outro carro. Será simulado caso de carro do meio (Módulo-2), por ser mais comum.

Causa : queda do disjuntor de freio do Módulo-2.

Efeito : emergência de primeiro nível.

Solução: isolar o freio local em "elétrico", "pneumático", ou fechar a válvula 6 do Módulo-2.

Algoritmo

```

CONTO(15) = VAV62
CONTO(16) = BIT2E
CONTO(17) = BIT2P
CONTO(41) = CONTO(15).OR.CONTO(16).OR.CONTO(17)
EMEPN = EMEPN.OR.(.NOT.DFRE2).AND.((FFRNI.AND.(.NOT.CONTO(15))).
      .OR.(FFRIE.AND.(.NOT.CONTO(16))).OR.(FFRIP.AND.
      (.NOT.CONTO(17))).

```

Onde:

VAV62 - válvula 6 do Módulo-2 fechada.

BIT2E = botão de isolação de freio do Módulo-2 na posição "elétrico".

BIT2P = botão de isolação de freio do Módulo-2 na posição "pneumático".

EMEPN = requisição de emergência de primeiro nível.

DFRE2 = disjuntor de freio do Módulo-2 ligado.

FFRNI = chave do painel do instrutor que simula a falha de remoção de freio que só isola através da válvula 6.

FFRIE = chave do painel do instrutor que simula a falha de remoção de freio que isola eletricamente.

FFRIP = chave do painel do instrutor que simula a falha de remoção de freio que isola pneumáticamente.

4.2.14. Falha "DSF" sempre aplicado

Causa : chave no painel do instrutor.

Efeito : requisição de emergência de primeiro nível.

Solução: anda em manual se isolado total, e em MCS/ATO se isolado local.

Algoritmo

CONTO(18) = (MANUA.OR.MANUR).AND.BTOTA.OR.(AUTOM.OR.SAUTO).AND.
 BILCL.AND.(.NOT.BIT1P)

EMEPN = EMEPN.OR.DSFSA

onde:

MANUA = trem operando em manual.

MANUR = trem operando em manual redundante.

BTOTA = botão de isolação total ligado.

AUTOM = trem operando em automático.

SAUTO = trem operando em semiautomático.

DILCL = botão de isolação local do DSF ligado.

BIT1P = botão de isolação do freio do Módulo-1 em "pneumático".

EMEPN = requisição de emergência de primeiro nível.

DSFSA = chave do painel do instrutor que simula a falha "DSF sempre aplicado".

4.2.15. Falha "Alavanca de Comando Posicionada no Segundo Carro"

Causa : acionamento de chave no painel do instrutor.

Efeito : freio não alivia de 5 psi.

Solução: reposicionamento da chave do painel do instrutor, simulando reposicionamento da alavanca do 2º carro.

Algoritmo

F5PSI = ALCM2

onde:

F5PSI = requisição de 5 psi nos cilindros de freio.

ALCM2 = botão do painel do instrutor que simula alavanca de comando posicionada no 2º carro.

4.3. MODELAMENTO DAS FALHAS DO SISTEMA PNEUMÁTICO

Toda uma série de falhas pode fazer com que a tubulação de freio seja descarregada, ocasionando a aplicação de freio de emergência e exigindo a intervenção do operador de trem para que o trem possa voltar a movimentar-se. Os itens a seguir descrevem cada uma dessas falhas.

4.3.1. Falha "Fusível de Acoplamento Queimado"

Tem-se que ter, antes de mais nada, a condição de tubulação de freio carregada:

Algoritmo

TBCAR = .NOT.FREEM.OR.(PTBFR.GT.900)

onde:

TBCAR = tubulação de freio carregada.

FREEM = freio de emergência aplicado.

PTBFR = pressão na tubulação de freio em décimos de psi.

A falha propriamente dita é:

Causa : queima do fusível de acoplamento do Módulo-1.

Efeito : esvaziamento da tubulação de freio.

Solução: derivar P e BRK do Módulo-1; derivar portas do Módulo-1; e manter botão de carregamento da tubulação de freio pressionado (botão do console do operador).

Algoritmo

CONTO(22) = BIPB1.AND.BPTD1.AND.BTBF1
TBCAR = TBCAR.AND.(FACP1.OR.CONTO(22))

onde:

BIPB1 = botão de isolação de P e BRK do Módulo-1.

BPTD1 = botão de portas derivar do Módulo-1.

BTBF1 = botão de carregamento da tubulação de freio localizado no console do operador.

TBCAR = tubulação de freio carregada.

FACP1 = fusível de acoplamento do Módulo-1 intacto..

4.3.2. Falha "Fusível de Acoplamento Queimado no 6º Carro".

Causa : queima do fusível de acoplamento do Módulo-2.

Efeito : esvaziamento da tubulação de freio.

Solução: derivar P e BRK do Módulo-2; derivar portas no Módulo-1, e manter botão de carregamento da tubulação pressionado no console do operador.

Algoritmo

CONTO(2) = BIPB2.AND.BPTD1.AND.BTBF1
TBCAR = TBCAR.AND.(FACP2.OR.CONTO(2))

onde:

BIPB2 = botão de isolação de P e BRK do Módulo-2.
 BPTD1 = botão de portas derivar do Módulo-1.
 BTBF1 = botão de carregamento da tubulação de freio lo
 calizado no console do operador.
 TBCAR = tubulação de freio carregada.
 FACP2 = fusível de acoplamento do Módulo-2 intacto.

4.3.3. Falha "Disjuntor de Bateria do 1º Carro Desarmado"

Causa : desarme do disjuntor de bateria do Módulo-1.
 Efeito : esvaziamento da tubulação de freio.
 Solução: mudar de cabine; derivar P e BRK e portas do
 Módulo-1; isolar válvula 6 do Módulo-1, e man
 ter botão de carregamento da tubulação de
 freio pressionado no console do operador.

Algoritmo

CONTO(23) = NLIDR.AND.VAV61.AND.BIPB1.AND.BPTD1.AND.BTBF1
 TBCAR = TBCAR.AND.(DBAT1.OR.CONTO(23))

onde:

NLIDR = chave que indica mudança de cabine.
 VAV61 = válvula 6 do Módulo-1 fechada.
 BIPB1 = botão de isolação de P e BRK do Módulo-1 liga
 do.
 BPTD1 = botão de isolação de portas do Módulo-1 ligado.
 BTBF1 = botão de carregamento da tubulação de freio do
 console do operador pressionado.
 TBCAR = tubulação de freio carregada.
 DBAT1 = disjuntor de bateria do Módulo-1 ligado.

4.3.4. Falha "Disjuntor de Bateria dos Carros 3 a 5 Desarmado"

Causa : disjuntor de bateria do Módulo-2 desarmado.
 Efeito : esvaziamento da tubulação de freio.

Solução: derivar BGCP do Módulo-2; válvula 6 do Módulo 2 fechada; e manter botão de carregamento da tubulação de freio do console do operador pressionado.

Algoritmo

CONTO(24) = VAV62.AND.BGCP2.AND.BTBFl
TBCAR = TBCAR.AND.(DBAT2.OR.CONTO(24))

onde:

VAV62 = válvula 6 do Módulo-2 fechada.
BGCP2 = botão geral de comando de portas do Módulo-2 ligado.
BTBFl = botão de carregamento da tubulação de freio do console do operador pressionado.
TBCAR = tubulação de freio carregada.
DBAT2 = disjuntor de bateria do Módulo-2 ligado.

4.3.5. Falha "Disjuntor de Tração do Primeiro Carro Desarmado"

Causa : disjuntor de tração do Módulo-1 desarmado.
Efeito : esvaziamento da tubulação de freio.
Solução: se carro A, fechar válvulas 5; 5A e 6 do Módulo-1.
Se carro B, isolar freio pneumáticamente.
Nos dois casos mudar de cabine e manter botão de carregamento da tubulação pressionado.

Algoritmo

TBCAR = TBCAR.AND.((DTRCl.OR.(CARRA.AND.VAV51.AND.VV5A1.AND.VAV61)).OR.(CARRB.AND.BIT1P)).AND.NLIDR.AND.BTBFl

Onde:

TBCAR = tubulação de freio carregada.
DTRCl = disjuntor de tração do Módulo-1 ligado.
CARRA = "flag" que indica se os carros representados pelos Módulos são do tipo A.
VAV51 = válvula 5 do Módulo-1 fechada.

VV5A1 = válvula 5A do Módulo-1 fechada.
 VAV61 = válvula 6 do Módulo-1 fechada.
 CARRB = "flag" que indica se os carros representados pelos Módulos são do tipo B.
 BIT1P = botão de isolamento de freio do Módulo-1 em "pneumático".
 NLIDR = chave que indica mudança de cabine acionada.
 BTBF1 = botão de carregamento da tubulação de freio do console do operador pressionado.

4.3.6. Falha "Disjuntor de Tração do Segundo Carro Desarmado"

Causa : disjuntor de tração do Módulo-2 desarmado.
 Efeito : esvaziamento da tubulação de freio.
 Solução: se carro A mudar de cabine e isolar as válvulas 5; 5A e 6. Se carro B isolar freio de serviço.

Algoritmo

CONTO(25) = VAV52.AND.VV5A2.AND.VAV62.AND.NLIDR
 CONTO(26) = BIT2E.AND.CARRB
 CONTO(37) = CONTO(25).OR.CONTO(26)
 TBCAR = TBCAR.AND.(DTRC2.OR.CONTO(25)).AND.(CONTO(26).OR.
 (.NOT.CARRB))

onde:

VAV52 = válvula 5 do Módulo-2 fechada.
 VV5A2 = válvula 5A do Módulo-2 fechada.
 VAV62 = válvula 6 do Módulo-2 fechada.
 NLIDR = chave que indica mudança de cabine acionada.
 BIT2E = freio de serviço isolado eletricamente.
 CARRB = "flag" que indica se os carros representados pelos Módulos são do tipo B.
 TBCAR = tubulação de freio carregada.
 DTRC2 = disjuntor de tração do Módulo-2 ligado.

4.3.7. Vazamentos Não-Localizados

São os vazamentos de ar do sistema pneumático. Se não solucionados provocam esvaziamento dos reservatórios e a consequente entrada do trem em emergência. O trem só retornará ao serviço se o vazamento for eliminado ou se for isolado. São não-localizados porque podem estar em qualquer ponto da tubulação de um vagão, e no Modelo são provocados segundo uma chave seletora no painel do instrutor.

Os vazamentos de ar com seus respectivos contornos vão descritos abaixo.

Algoritmo

CONTO(27) = VV11T.AND.VV21T.AND.VAV61.AND.BTBF1
 CONTO(28) = VV12T.AND.VV22T.AND.VAV62
 CONTO(29) = VV12D.AND.VV22D.AND.VAV61.AND.VAV62.AND.BTBF1
 CONTO(30) = VV12D.AND.VV22D.AND.VAV61.AND.VAV62
 CONTO(31) = VV12D.AND.VV12T.AND.VV22D.AND.VV22T.AND.VAV62.AND.
 BTBF1
 CONTO(32) = VAV51.AND.VV5A1.AND.VAV61.AND.BTBF1
 CONTO(33) = VAV52.AND.VV5A2.AND.VAV62
 CONTO(35) = CONTO(27).OR.CONTO(28).OR.CONTO(29).OR.CONTO(30).OR.
 CONTO(31)
 CONTO(36) = CONTO(32).OR.CONTO(33)

Se VZTBF.AND.(.NOT.NLIDR).AND.(NCARR.EQ.1).AND.CARRA.AND.
 (.NOT.CONTO(27))
 .OR.VZTBF.AND.(.NOT.NLIDR).AND.(NCARR.EQ.6).AND.
 (.NOT.CONTO(28))
 .OR.VZTBF.AND.(NCARR.EQ.2).AND.(.NOT.CONTO(29))
 .OR.VZTBF.AND.(NCARR.EQ.5).AND.(.NOT.CONTO(30))
 .OR.VZTBF.AND.(NCARR.EQ.(3.OR.4)).AND.(.NOT.CONTO(31))
 .OR.VZUOP.AND.(NCARR.EQ.1).AND.CARRA.AND.(.NOT.CONTO(32))
 .OR.VZUOP.AND.(NCARR.GT.2).AND.(.NOT.CONTO(33))

 então PREFR = PREFR - 6 /se ocorre vazamento, diminue pressão do reservatório de freio/.

onde:

VV11T = válvula 1 traseira do Módulo-1.fechada.
VV11D = válvula 1 dianteira do Módulo-1.fechada.
VV12T = válvula 1 traseira do Módulo-2.fechada.
VV12D = válvula 1 dianteira do Módulo-2.fechada.
VV21T = válvula 2 traseira do Módulo-1.fechada.
VV21D = válvula 2 dianteira do Módulo-1.fechada.
VV22T = válvula 2 traseira do Módulo-2.fechada.
VV22D = válvula 2 dianteira do Módulo-2.fechada.
VAV51 = válvula 5 do Módulo-1.fechada.
VV5A1 = válvula 5A do Módulo-1.fechada.
VAV61 = válvula 6 do Módulo-1.fechada.
VAV52 = válvula 5 do Módulo-2.fechada.
VV5A2 = válvula 5A do Módulo-2.fechada.
VAV62 = válvula 6 do Módulo-2 fechada.
BTBF1 = botão de carregamento de freio pressionado.
VZTBF = vazamento na tubulação de freio.
NLIDR = chave que indica mudança de cabine.
NCARR = número do carro sendo representado pelo Módulo-2.
CARRA = módulos representam carros tipo A.
VZUOP = vazamento na UOP.
PREFR = pressão no reservatório de freio, em décimos de psi.

Capítulo V

"CONCLUSÕES"

O Modelo dos Trens do Metrô de São Paulo resultou em um programa escrito em FORTRAN-F10 (DEC-PDP10) com as seguintes cifras:

- . Número total de variáveis : 266
- . Variáveis do tipo Lógico : 243
- . Variáveis de tipo inteiro : 23
- . Variáveis de Entrada : 111
- . Variáveis de Saída : 61
- . Tempo Médio de Execução no PDP10: 2,516 ms.
- . Tamanho do Programa Objeto : 7680 Bytes.

Mesmo que a implementação no INTEL-8086 resulte num programa dez vezes mais lento, o que é uma previsão pessimista, não será desnecessária qualquer otimização do código visando-se acelerar o processamento pois, a cada 100 ms, que é o período de amostragem à cabine do trem, o Modelo consumiria menos de 30% do tempo de processamento, cabendo os outros 70% ao Supervisor da Simulação* e ao Sistema Operacional**.

Pode-se dizer que a arquitetura do Modelo é compatível com outros tipos de trem, já que todos possuem sistema de portas; de tração, de freios pneumático, etc, porém a implementação destes blocos de software é uma transcrição do funcionamento interno de cada um dos sistemas, o qual tem marcantes diferenças de um trem para outro.

Com relação ao modelamento da operação de outros processos, tais como simulador de vôo ou operação de uma planta industrial, pode-se dizer que o Modelo dos Trens forneceu capacitação tecnológica no domínio das funções básicas que compoariam tais Modelos, quais sejam:

* Tese de Mestrado de Valêncio Guedes Pereira, da Automação - FEC-UNICAMP.

**Tese de Mestrado de Ricardo José J.Silva, da Automação - FEC-UNICAMP.

- . Modelamento de Funções Lógicas Combinacionais e Sequenciais.
- . Modelamento de Funções Analógicas.
- . Modelamento de Temporizações (Tempo-Real).

Além dos aspectos de engenharia de software envolvidos no manuseio de um sistema com elevado número de variáveis e elevada complexidade.

Poderiam ser introduzidos aperfeiçoamentos no Modelo do Sistema Pneumático, de forma que a agulha de pressão na tubulação de freios (agulha branca do manômetro, no console do operador) apresentasse um comportamento mais fidedigno quando do recarregamento da tubulação de freios, em caso de vazamentos de ar comprimido.

Também o sistema de portas poderia simular falhas em mais de uma folha de porta, desde que houvesse a contrapartida em hardware no Simulador.

Um aperfeiçoamento extremamente benéfico ao treinamento dos operadores de trem seria a adição de sinais sonoros correspondentes ao funcionamento do sistema pneumático, à velocidade e à aceleração do trem, no Simulador, o que poderia ser feito a custos modestíssimos.

A velocidade de execução do Modelo poderia ser melhorada com a separação entre rotinas que só rodam com o trem parado (portas) e as demais.

Os pontos críticos do Modelo são a conectividade entre suas diversas partes e a otimização do código, uma vez que a otimização do código levará a uma inevitável perda de legibilidade, aumentando o risco de erros de programação e/ou manutenção.

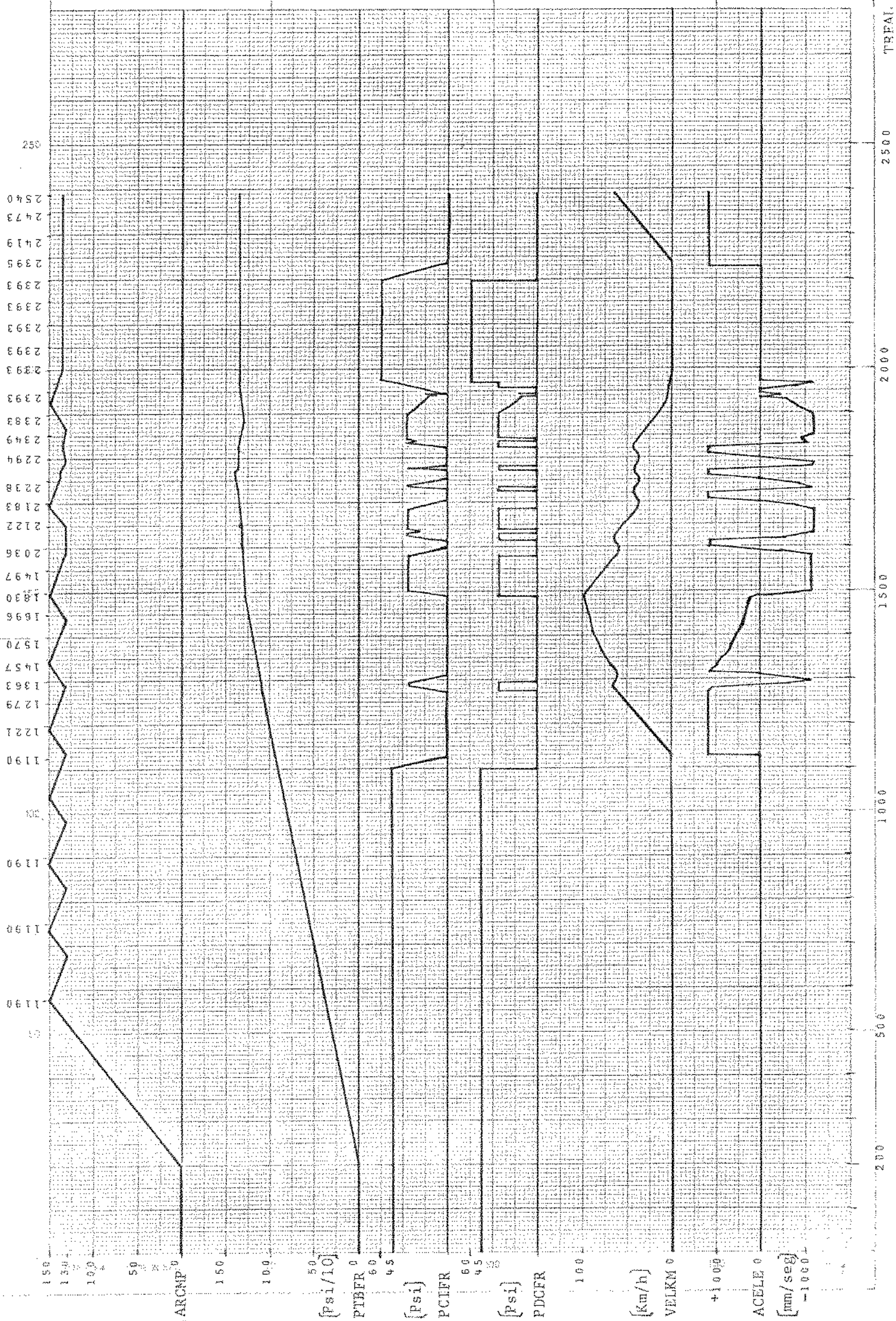
Enfim o método de detalhamento progressivo (Método Cartesiano ou "Top-Down") demonstrou ser adequado à concepção de um sistema em tempo-real na medida em que os elevados níveis de abs

tração favorecem a confiabilidade do produto e possibilitam se
dose o nível de detalhamento da implementação (Proximidade do Ní
vel de Máquina) até ser atingido um desempenho satisfatório, dis
pensando-se o esforço de um detalhamento suplementar desnecessã
rio.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MYERS,G.J. - Software Reliability: Principles and Practices. John Wiley and Sons, London - 1976.
- (2) ARON,J.D. - The Program Development Process - Part 1 - The Individual Programmer. Addison Wesley Publishing Co. - 1974.
- (3) DIJKSTRA,E.; DAHL,O. - Structured Programming. Academic Press London - 1972.
- (4) Manual de Treinamento de Operador de Trem. Metrô de São Paulo.
- (5) Manual do Dispositivo Supervisor de Freios (DSF) - Metrô de São Paulo.
- (6) Manual do ATO/ATP - Metrô de São Paulo.

ANEXO I



ANEXO II

TABELA DAS VARIÁVEIS DO MODELO

NOME	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	TIPO	VALOR INICIAL
ALCTR	Alcinha tracionada	L	F
ABRAT	Abre portas automaticamente	L	F
ABREE	Abrir portas do lado esquerdo	L	F
ABRED	Abrir portas do lado direito	L	F
ACEME	Alavanca de comando em emergência	L	T
ACMFS	Alavanca de comando em MFS (Máximo Freio de Serviço)	L	F
ACACL	Alavanca de comando em aceleração.	L	F
ACFRS	Alavanca de comando em freio de serviço	L	F
ALRRF	Alavanca reversora em "frente"	L	T
ALRNE	Alavanca reversora em "neutro"	L	F
ALCM2	Alavanca de comando posicionada no 2º carro	L	F
AMAUT	Alavanca de modos em automática	L	T
AMSAU	Alavanca de modos em semiautomático	L	F
AMSAR	Alavanca de modos em semiautomático redundante	L	F
ANUNC	Anunciador operante	L	F
ANFFR	Anunciador de freio falha remoção aceso	L	F
ANFFA	Anunciador de freio falha aplicação aceso.	L	F
ANVRD	Anunciador de "velocidade ATC redução"	L	F
ANOPM	Anunciador de "operação em manual" aceso	L	F
ANFSA	Anunciador de "freio de segurança aplicado" aceso	L	F
ANPTA	Anunciador de "portas fechadas" aceso	L	F
A	Variável intermediária da lógica de portas	L	F
ANMCR	Anunciador de MCS redundante aceso	L	F
AUTOM	Trem operando em modo automático	L	F

ACELE	Aceleração em mm/seg.	I	Ø
ARCMP	Pressão do reservatório principal de ar, em psi/10.	L	Ø
ANTRI	Anunciador de "Tração Isolada" aceso.	L	F
ANATO	Anunciador de "Ato Normal" aceso.	L	F
ANTAN	Anunciador de "Tração Anormal" aceso.	L	F
ANFEA	Anunciador de "Freio de Estacionamento Aplicado" aceso.	L	F
BTTLP	Botão de isolação freio do conjunto 1 em isolação pneumática	L	F
BILCL	Botão de isolação do conjunto 1 acionado	L	F
BIPB1	Botão de isolação de P e BRK do conjunto 1 acionado	L	F
BIT2E	Botão de isolação freio do conjunto 2 em isolação elétrica.	L	F
BIPB2	Botão de isolação de P e BRK do conjunto 2 ligado.	L	F
BIT2P	Botão de isolação freio do conjunto 2 em isolação pneumática.	L	F
BIT1N	Botão de isolação freio do conjunto 1 em "neutro".	L	T
BIT2N	Botão de isolação freio do conjunto 2 em "neutro".	L	T
BLCAB	Botão de luz da cabine ligado.	L	F
BOLAV	Bola vermelha acionada.	L	F
BRDSF	Botão de rearme do DSF acionado.	L	F
BPTD1	Botão de portas derivar do conjunto 1 acionado.	L	F
BTDSF	Botão de teste do DSF acionado.	L	F
BTFB1	Botão de carregamento da tubulação de freio conjunto 1 ligado.	L	F
BTFB2	Botão de carregamento da tubulação de freio conjunto 2 ligado.	L	F
BTPTO	Botão de teste de partida no páteo acionado.	L	F
BGCP1	Botão geral de comando de portas do conjunto 1 acionado.	L	F
BGCP2	Botão geral de comando de portas do conjunto 2 acionado.	L	F
BFPTF	Botão de fechamento de portas do lado esquerdo acionado.	L	F
BFFTD	Botão de fechamento de portas do lado direito acionado.	L	F
BABPE	Botão de abertura de portas do lado esquerdo acionado.	L	F
BABPD	Botão de abertura de portas do lado direito acionado.	L	F

BTPBP	Botão de falha "problema pneumático nas portas" ligado.	L	F
BTCMP	Algum botão de ligar o compressor acionado.	L	F
BITLE	Botão de isolação total do conjunto 1 em isolação elétrica.	L	F
BTPCT	Botão de redução percentual.	I	87
BTOTA	Botão de isolação total acionado.	L	F
BIFPN	Botão de isolação de folha de porta.	L	F
BIFPL	Botão de isolação de folha de porta em "ligado (condição normal)".	L	T
C	Variável intermediária da lógica de portas.	L	F
CARRA	Carros do modelo são tipo A.	L	T
CARRB	Carros do modelo são tipo B.	L	F
CIGAR	Cigarra do DSF acionada.	L	F
CIGPT	Cigarra de portas ligada.	L	F
CHCP1	Chave de compressor do conjunto 1 ligada.	L	T
CHCP2	Chave de ligar compressor do conjunto 2 acionada.	L	T
COMP1	Compressor da unidade 1 ligado.	L	F
COMP2	Compressor da unidade 2 ligado.	L	F
CMPRS	Compressores funcionando (bombeando ar).	L	F
CXLGA	Caixa lógica A operante.	L	T
CXLGB	Caixa lógica B operante.	L	T
CHPTD	Chave de portas derivar acionada (conjunto 1).	L	F
CPRDO	Carro parado.	L	T
CDVEL	Código de velocidade limite.	I	Ø
CONTO	Vetor de contornos de falhas do trem.	L	F
CHSAB	Chave de serviço na posição "Abrir".	L	F
CHSFC	Chave de serviço na posição "Fechar".	L	F
CHTPR	Telecomando "tempo de parada programada infinito".	L	F
D	Variável intermediária da lógica de portas.	L	F

DATP2	Disjuntor de ATP do conjunto 2 ligado.	L	T
DATP1	Disjuntor de ATP do conjunto 1 ligado.	L	T
DBAT1	Disjuntor de bateria do conjunto 1 ligado.	L	T
DBAT2	Disjuntor de bateria do conjunto 2 ligado.	L	T
DCCS1	Disjuntor de CCS do conjunto 1 ligado.	L	F
DCXL1	Disjuntor de caixa lógica do conjunto 1 ligado.	L	T
DCXL2	Disjuntor de caixa lógica do conjunto 2 ligado.	L	T
DCCO1	Disjuntor de CCO do conjunto 1 ligado.	L	T
DCCO2	Disjuntor de CCO do conjunto 2 ligado.	L	T
DDSF1	Disjuntor de DSF do conjunto 1 ligado.	L	T
DDSF2	Disjuntor de DSF do conjunto 2 ligado.	L	T
DESEN	Desengate automático acionado.	L	F
DERE1	Disjuntor de freio do conjunto 1 ligado.	L	T
DERE2	Disjuntor de freio do conjunto 2 ligado.	L	T
DSFSA	Falha DSF simpli aplicado.	L	F
DTRC1	Disjuntor de tração do conjunto 1 ligado.	L	T
DTRC2	Disjuntor de tração do conjunto 2 ligado.	L	T
DISTC	Distância percorrida em mm.	I	Ø
DCCS1	Disjuntor de CCS do Módulo-1 ligado.	L	T
E	Variável intermediária da lógica de portas.	L	F
EMEPN	Emergência de primeiro nível.	L	F
F	Variável intermediária da lógica de portas.	L	F
FACP1	Fusível de acoplamento do conjunto 1 ligado.	L	T
FECHE	Fechar portas do lado esquerdo.	L	F
FECHE	Fechar portas do lado direito.	L	F
FCHAU	Fechar portas automaticamente.	L	F
FFAPL	Freio falha aplicação.	L	F

FFRIE	Botão de telecomando freio falha remoção isolação elétrica.	L	F
FFRIP	Idem isolação pneumática.	L	F
FFRNI	Idem não isola.	L	F
FLTCR	Falha TCR (telecomando).	L	F
FLCGE	Flag de cigarra de portas da esquerda.	L	F
FLFAU	Flag do fechamento automático de portas.	L	F
FLCGD	Flag da cigarra de portas do lado direito.	L	F
FLBLV	Flag do acionamento da bola vermelha.	L	F
FLEME	Flag de aplicação de emergência.	L	F
FMAXS	Freio máximo de serviço aplicado.	L	F
FMINNS	Freio mínimo de serviço aplicado.	L	F
FRALI	Freio aliviado.	L	F
FRF11	Freio do conjunto 1 funcionando.	L	F
FRF12	Freio do conjunto 2 funcionando.	L	F
FFREM	Freio falha remoção.	L	F
FLAPL	Flag de FFA.	L	T
FLFFR	Flag de FFR.	L	T
F30PS	Freio a 30 psi.	L	F
F5PSI	Freio a 5 psi.	L	F
FLDSF	Flag de teste do DSF.	L	F
FVZRO	Fusível de velocidade zero do conjunto 1 ligado.	L	T
FACP2	Fusível de acoplamento do Módulo-2 operante.	L	T
GERAL	Disjuntores e válvulas irrelevantes.	L	T
GRSGP	Gerador de sinal P com defeito (telecomando).	L	F
GRBRK	Gerador de sinal BRK com defeito (telecomando).	L	F
GPRBK	Geradores de P e BRK com defeito (telecomando).	L	F
HMORT	Homem morto.	L	F

IVLRS	Região S do IVL acesa.	L	F
JPROU	Parada automática concluída.	L	T
LMPVM	Lâmpada vermelha acesa.	L	F
LARM1	Luz de freio do armário 1 acesa.	L	F
LARM2	Luz de freio do armário 2 acesa.	L	F
LAPAM	Luz amarela acesa.	L	F
LMPVD	Luz verde acesa.	L	F
LMPAZ	Luz azul acesa.	L	F
MANUA	Trem operando em manual (alavanca de modos em manual).	L	F
MANUR	Alavanca de modos em manual-redundante.	L	F
MSBRK	Memória do valor anterior do sinal BRK.	I	Ø
MEPTD	Memória do estado das portas da direita.	L	F
MEPTE	Memória do estado das portas da esquerda.	L	F
MBT1P	Memória da isolação pneumática dos freios do Módulo-1.	L	F
MBT2P	Idem, Módulo-2.	L	F
NLIDR	Console correspondente a carro não-líder (telecomando).	L	F
NCARR	Número do carro correspondente ao conjunto 2 (telecomando).	I	2
NCMPR	Número de compressores ativos (telecomando).	I	3
OPERMI	Acender anunciador de operação manual.	L	F
PPINT	Telecomando "parada programada interrompida" ligada.	L	F
PPGDA	Parada programada acionada.	L	F
PTABE	Portas da esquerda abertas.	L	F
PTFDE	Portas da esquerda fechadas.	L	T
PTPBE	Telecomando "portas com problema elétrico" ligada.	L	F

PTFDD	Portas da direita fechadas.	L	T
PTABD	Portas da direita abertas.	L	F
PTCSE	Telecomando "não acende anunc. pta com sinal externo.	L	F
PTSSE	Idem, sem sinal externo.	L	F
PTPBL	Telecomando portas não fecham.	L	F
PCIF1	Pressão no cilindro de freio do conjunto 1.	I	45
PCIF2	Pressão no cilindro de freio do conjunto 2.	I	45
PCIFR	Idem outros carros.	I	45
FDCFR	Pressão comandada nos cilindros de freio.	I	Ø
POSIC	Posição do trem em metros.	I	1190
PTBFR	Pressão na tubulação de freio.	I	Ø
PRBFR	Pressão no reservatório de freio.	I	Ø
FSPDA	Posição da próxima parada programada.	I	Ø
PTPBP	Telecomando "portas com problema pneumático".	L	F
RESET	Telecomando que remove isolação pneumática dos freios dos Mod. 1 e 2.	L	F
SAUTO	Trem operando em semiautomático.	L	F
SBVEL	Sobrevelocidade.	L	F
SCBRK	Valor do sinal BRK.	I	Ø
SIGNP	Valor do sinal P.	I	Ø
TBCAR	Tubulação de freio carregada.	I	Ø
TENDC	Painel alimentado com 38 VDC.	L	T
TEDSF	DSF em teste.	L	F
TEMER	Temporização de emergência.	L	F
TFREM	Temporização de FFR.	L	T
TLSGP	Defeito no train line P	L	F
TFAPL	Temporização de FFA.	L	T
TFAUT	Flag de final de temporização de fechamento automático pta.	L	T

NOME	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	TIPO	VALOR INICIAL
TLBRK	Defeito no train line BRK.	L	F
TRAP1	Tração de conjunto 1 operante.	L	F
TRAP2	Tração de conjunto 2 operante.	L	F
TRANO	Tração anormal.	L	F
TTRIL	Terceiro trilho com tensão.	L	T
TPCGE	Temporização das cigarras de portas da esquerda	L	T
TPCGD	Idem, direita.	L	T
TUBUL	Variável intermediária do carregamento tubulação freio.	L	F
TRAOP	Tração operante em qualquer unidade.	L	F
TREAL	Tempo real.	I	Ø
TLPBR	Telecomando "Defeito nos train-lines" P e BRK.	L	F
TRNOP	Tração não-operante.	L	F
VATCR	Velocidade ATC redução.	L	F
VAV61	Válvula 6 do conjunto 1 fechada.	L	F
VAV62	Válvula 6 do conjunto 2 fechada.	L	F
VV5A1	Válvula 5A do conjunto 1 fechada.	L	F
VV5A2	Idem conjunto 2.	L	F
VISOL	Válvula de isolamento de folha de portas.	L	F
VAV51	Válvula 5 do conjunto 1 fechada.	L	F
VAV52	Idem, conjunto 2	L	F
VDESE	Válvula de desengate aberta.	L	F
VENTI	Ventilação operante.	L	F
VZTBF	Telecomando vazamento da tubulação de freio.	L	F
VZUOP	Telecomando vazamento na UOP.	L	F
VELOC	Velocidade em mm/seg.	L	F
VELIM	Velocidade limite.	I	Ø
VEEMP	Vetor de temporização de eventos.	I	Ø
VV11D	Válvula 1 dianteira do conjunto 1 fechada.	L	F

VV12D	Idem, do conjunto 2.		F
VV21D	Válvula 2 dianteira do conjunto 1 fechada.		F
VV22D	Idem, do conjunto 2.		F
VV11T	Válvula 1 traseira do conjunto 1 fechada.		F
VV12T	Idem, do conjunto 2.		F
VV21T	Válvula 2 traseira do conjunto 1 fechada.		F
VV22T	Idem, do conjunto 2.		F
VELKM	Velocidade do trem em Km/h.	I	Ø