

WILLY KURT LEISTNER GIACON
NELSON MASSARU OSHIRO
EURICO DAGNESI

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE DISPONIBILIDADE E
CONFIABILIDADE DO SISTEMA CBTC

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de especialista em
tecnologia metroferroviária.

Área de Concentração:
Sistemas de Comunicações

Orientador:
Prof. Dr. Antonio Fischer de Toledo.

São Paulo
2010

WILLY KURT LEISTNER GIACON
NELSON MASSARU OSHIRO
EURICO DAGNESI

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE DISPONIBILIDADE E
CONFIABILIDADE DO SISTEMA CBTC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Fischer de Toledo

Prof. Dr. João Batista Camargo Jr.

Profa. Dra. Selma Shimizu

São Paulo, 22 de Junho de 2010

DEDALUS - Acervo - EPEL



31500019669

FICHA CATALOGRÁFICA

M2C10C

Oshiro, Nelson Massaru

Estudo preliminar sobre disponibilidade e confiabilidade do sistema CBTC / N.M. Oshiro, E. Dagnesi, W.K.L. Giacon. -- São Paulo, 2010.

83 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metro-Ferrovária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Sinalização de tráfego 2. Ferrovias 3. Metrô I. Dagnesi, Eurico II. Giacon, Willy Kurt Leistner III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia IV. t.

2127019

O único lugar aonde o sucesso vem
antes do trabalho, é no dicionário.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida e pelas oportunidades que nos proporcionam aprendizado e evolução.

Ao engenheiro Walter Katsumi Sanuki, pelas informações precisas que possibilitaram a comparação entre os dois sistemas de sinalização.

Aos engenheiros Nilton Roberto Herculin e José Carlos Ganzarolli.

Ao Professor Doutor Antonio Fischer de Toledo, pela orientação no trabalho.

A Luzia Ciola da Silva, pelo trabalho e dedicação na realização deste curso.

Um especial agradecimento ao Prof. Antonio Tavares e Priscila Oliveira, pela revisão do texto.

Ao engenheiro Fernando Luis Nunes, pelo fornecimento de parte das informações operacionais atuais.

Aos amigos, que direta ou indiretamente, forneceram a ajuda necessária para a finalização deste trabalho.

Aos professores que participaram do curso.

À presidência da CPTM, pelo investimento que possibilitou a realização deste curso.

À família, pela paciência e ajuda.

RESUMO

O trabalho apresenta uma análise comparativa, qualitativa e quantitativa entre os sistemas de sinalização de Bloco Fixo e CBTC. O objetivo é um estudo que facilite e agregue conhecimento para a comparação das duas tecnologias e, com isso, a utilização do melhor sistema de sinalização.

São apresentadas as principais características das duas sinalizações e discutidos alguns aspectos dos sistemas de controle ferroviário.

É desenvolvida uma comparação dos itens tecnológicos e de interferência operacional, usando-se uma tabela de falhas do sistema de sinalização atual e uma estimativa de falhas futuras, bem como os possíveis ganhos utilizando-se o CBTC para a operação do tráfego ferroviário na CPTM.

ABSTRACT

The paper presents a comparative, qualitative and quantitative analysis between the signaling systems of Fixed Block and CBTC. The objective is a study that makes it easy to aggregate knowledge for the comparison of the two technologies and, with that, the utilization of the best signaling system.

The main characteristics of the two signaling are presented and some aspects of the railroad control systems are discussed.

A comparison of the technological items and operational interference is developed, using a table of flaws of the present signaling system and an estimation of future flaws, as well as the possible gains using the CBTC for the railroad traffic operation at CPTM.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1-Histórico da CPTM.....	16
Figura 2.2-Mapa das linhas da CPTM.....	18
Figura 2.3-Circuito de Via típico simplificado.....	20
Figura 2.4-Circuito de Via ocupado.....	20
Figura 2.5-Circuito de Via de dois trilhos.....	21
Figura 2.6-Bonde de Impedância.....	21

Capítulo 3

Figura 3.1-Tacômetro instalado na extremidade do eixo.....	23
Figura 3.2-Baliza ou Transponder.....	24
Figura 3.3-Antena de Radiocomunicação do CBTC.....	24
Figura 3.4-Antena de Radiofrequência de Varredura.....	25
Figura 3.5 – Rede interna de comunicação de uma composição equipada com CBTC.....	30
Figura 3.6-Eschema típico de interação entre trem e via.....	31

Capítulo 4

Figura 4.1-Eschema de movimento geral de trens para análise de bloco de processamento.....	41
Figura 4.2-Diagrama de Blocos do sistema CBTC.....	42
Figura 4.3-Diagrama de Blocos do sistema de Bloco Fixo.....	43
Figura 5.1- Comparação entre Bloco Fixo e CBTC.....	45

Anexos A

Figura A1-Relê Vital tipo Plug-In CC.....	60
Figura A2-Interação do campo magnético.....	63
Figura A3-Ciclo completo da corrente local e de via.....	63
Figura A4- Circuito de Via simplificado.....	65
Figura A5-Visão interna da máquina de chave.....	67
Figura A6- Operação da barra de acionamento.....	68
Figura A7-Travador.....	69
Figura A8-sinaleiro típico.....	71
Figura A9-Mecanismo interno de um sinaleiro.....	71

Annexo F

Figura F1 -Cálculo do ponto de parada do trem.....	81
Figura F2-Tempos de processamento.....	82
Figura F3-Níveis de Risco.....	83

LISTA DE GRÁFICOS

Capítulo 4

Gráfico 4.1-Curva típica de Demanda x Oferta.....	39
---	----

Capítulo 5

Gráfico 5.1-Oferta e demanda atual da linha 11.....	48
Gráfico 5.2-Flexibilidade de entrada e saída de trens na linha 11(17/05/2010).....	49
Gráfico 5.3-Distribuição de falhas, linhas 08, 10 e 11-março/2010.....	50
Gráfico 5.4-Falhas com interferência na operação no mês de março de 2010.....	51

LISTA DE TABELAS

Capítulo 5

Tabela 5.1- Falhas com interferência na operação do mês de março de 2010.....	51
---	----

ANEXO B

Tabela B1-Vantagens e desvantagens do FHSS.....	74
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATC	Automatic Train Control
ATO	Automatic Train Operation
ATP	Automatic Train Protection
ATS	Automático Train Supervision
CA	Corrente Alternada
CBTC	Communication Based Train Control
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CC	Corrente Contínua
CCO	Centro de Controle Operacional
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ERB	Estação Rádio Base
E1	Padrão de comunicação Europeu/Brasil para 30 canais de 64kbit/s
GHz	Giga Hertz
IEEE	Institute of Electrical and Eletronics Engineiers
IHM	Interface Homem Máquina
ISO	International Standards Organizations
MAL	Movement Authority Limit
Mbit/s	Megabit por segundo
MHz	Mega Hertz
RFFSA	Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima
STO	Sistema de Transmissão Óptica
VMA	Velocidade Máxima Autorizada
VR	Velocidade Reduzida
ZC	Zona de Controle

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	14
2. HISTÓRICO DA CPTM E CONCEITOS DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE BLOCO FIXO	16
2.1. Histórico da CPTM	16
2.2. Conceitos e funcionamento do sistema de bloco fixo	19
2.2.1 Sistemas de Comunicação de dados	19
2.2.2 Relés Vitais	19
2.2.3 Circuito de Via	19
2.2.3.1 Circuito de via de dois trilhos	21
2.2.3.2 Bonde de impedância	21
2.2.4 Intertravamento	22
2.2.5 Sinaleiros	22
2.2.6 ATC e ATO	22
3. CONCEITOS E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA CBTC	23
3.1. Principais normas relacionadas ao CBTC	28
3.2. Esquema típico de interação Trem e Via no sistema CBTC	31
3.3. Escolha da frequência do sistema de Rádio CBTC	33
3.4. Tecnologias utilizadas no Sistema CBTC	34
4. ALGUNS ASPECTOS RELEVANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE	35
4.1. Sistemas de Sinalização	35
4.1.1. ATO (Automatic Train Operation ou Operação Automática de Trens)	35
4.1.2. ATP (Automatic Train Protection ou Proteção Automática de Trens)	36
4.1.3. ATC (Automatic Train Control ou Controle Automático de Trens)	36
4.1.4. ATS (Automatic Train Supervision ou Supervisão Automática de Trens)	37
4.2. Evolução dos Sistemas de Controle Ferroviário	37
4.2.1. Primeira Geração	37
4.2.2. Segunda Geração	38
4.2.3. Terceira Geração	38
4.3. Ganho com a evolução dos Sistemas de Controle Ferroviário	38
4.4. Análise das etapas de Processamento do CBTC e do Bloco Fixo	40
4.4.1. Processamento do Sistema CBTC	40
4.4.2. Processamento do Sistema de Bloco Fixo	42
4.4.3. Análise comparativa dos blocos de processamento CBTC e Fixo	43
5. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMA CBTC E BLOCO FIXO	44
5.1. Confiabilidade, Disponibilidade e Segurança	44
5.1.1. Confiabilidade (Reliability):	44
5.1.2. Disponibilidade (Availability):	45

5.1.3. Segurança (Safety).....	45
5.2. Comparação de oferta versus demanda.....	45
5.3. Tabela comparativa de falhas do sistema de Bloco Fixo, comparado ao CBTC	49
5.3.1. Apresentação das falhas com interferência na operação.....	49
5.3.2. Apresentação das falhas de sinalização com interferência na operação .	50
5.3.3. Apresentação das falhas estimadas com interferência na operação considerando agora o sistema CBTC	52
5.3.4. Critérios para a quantificação das falhas no CBTC	52
6. CONCLUSÃO	55
7. REFERÊNCIAS	56
8. ANEXOS	57
ANEXO A - Equipamentos e Sistemas Utilizados no Bloco Fixo	57
ANEXO B - Rádio Digital com Espalhamento Espectral	73
ANEXO C - Definição de Balizas e Tacômetros	75
ANEXO D - Comunicação no Sistema CBTC	77
ANEXO E - Princípios de Segurança para Trens.....	78
ANEXO F - Segurança no Cálculo da Distância de Balizas ou Precisão dos Tacômetros	81

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas realizadas mostram que os usuários do sistema de transporte metroferroviário tem demonstrando expectativas e exigências crescentes quanto à disponibilidade, segurança, conforto, rapidez e confiabilidade dos serviços prestados, forçando a CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) a buscar, também de forma crescente, um maior grau de qualidade em seus serviços. Com base nessas novas expectativas, este trabalho abordará uma visão geral do sistema de sinalização tradicional e a nova tecnologia CBTC (*Communication Based Train Control* ou Controle de Trens Baseado em Comunicação), que será implantada nas linhas 8-Diamante, 10-Turquesa e 11-Coral, da CPTM. A demanda para estas linhas em 2010 e 2025 serão respectivamente, na linha 8, de 446 mil para 530 mil, linha 10 de 346 mil para 665 mil e linha 11 de 595 mil para 897 mil passageiros por dia. Somando-se todas as seis linhas da CPTM, a demanda em 2010 é de 2,5 milhões e em 2025 chegará a mais de 4 milhões de passageiros transportados por dia, expressando um crescimento e, com isso, a necessidade de utilizar um sistema de sinalização mais avançado, passando o intervalo entre trens dos atuais 6 minutos para 3 minutos. [2]

Por análise comparativa, são apresentados o sistema de sinalização CBTC e suas características de confiabilidade e segurança com relação ao sistema convencional de bloco fixo.

O trabalho apresenta no capítulo 2, um breve histórico da CPTM e as principais características do sistema de sinalização tradicional ou Bloco Fixo, demonstrando a evolução da empresa até os dias atuais, além da tecnologia utilizada.

No capítulo 3 são apresentados os conceitos do sistema de sinalização CBTC, bem como suas características principais de funcionamento, a fim de possibilitar a análise que ocorrerá no capítulo 5 comparando as duas tecnologias de sinalização, atual e futura.

Para serem discutidos os principais ganhos com a evolução dos sistemas de sinalização e controle, tratar-se-á, no capítulo 4, dos sistemas de sinalização, evolução dos sistemas de controle metroferroviário e, ao final, uma análise de diagrama de processamento dos dois sistemas de sinalização.

Já no capítulo 5, depois de demonstradas as principais características de cada sistema (sinalização de Bloco Fixo e CBTC), será apresentado um estudo

comparativo das principais diferenças entre eles, expondo-se uma tabela característica de falhas do sistema tradicional e uma estimativa de quais serão os ganhos em termos de falhas na evolução da sinalização.

Em função das expectativas abordadas no início deste trabalho, considerando que o sistema CBTC apresenta inúmeras vantagens e considerando o crescimento na utilização desta tecnologia no mundo, o presente estudo visa discutir e destacar algumas melhorias que serão obtidas na implantação do sistema na CPTM, patrocinadas pelo governo do Estado de São Paulo. Por exemplo, ficará evidente que o estudo sobre o sistema CBTC oferecerá ganhos significativos em termos de capacidade e disponibilidade na oferta de trens.

2. HISTÓRICO DA CPTM E CONCEITOS DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE BLOCO FIXO

2.1. Histórico da CPTM

A CPTM foi fundada em 28 de maio de 1992, a partir da promulgação da Lei Paulista nº 7.861, segundo o qual deveria assumir 261Km de três malhas ferroviárias da região metropolitana do Estado de São Paulo – a Estrada de Ferro Santos a Jundiaí, a Estrada de Ferro Sorocabana e a Estrada de Ferro Central do Brasil, conforme pode ser visualizado na figura 2.1, a seguir.

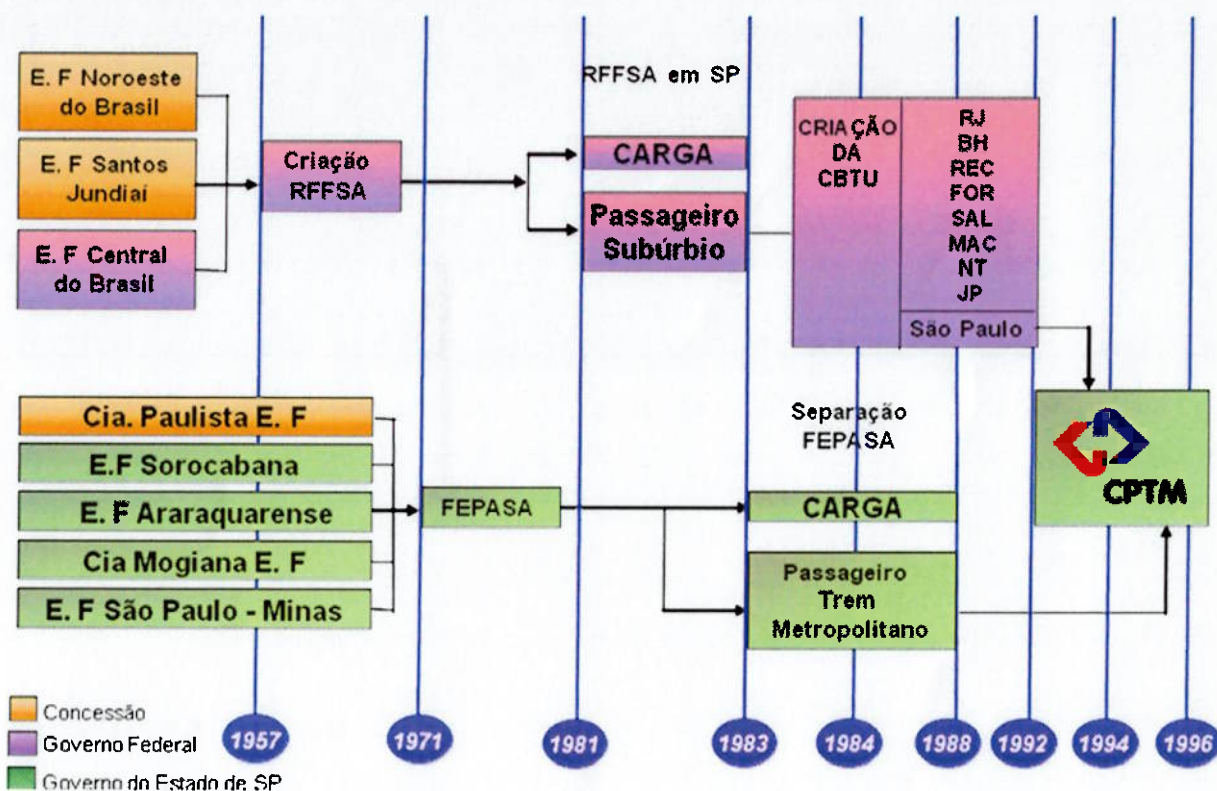


Figura 2.1-Histórico da CPTM

No entanto, foi em 1994 que a CPTM efetivamente começou a operar as antigas Linhas A e D [atuais 7-Rubi e 10-Turquesa] e E e F [atuais 11-Coral e 12-Safira], que pertenciam à CBTU. Em 1996, a Companhia passou a controlar os serviços da FEPASA, com as antigas Linhas B e C [atuais 8-Diamante e 9-Esmeralda], totalizando assim, seis linhas ferroviárias.

Hoje, a CPTM possui 89 estações operacionais em seis linhas e atende 22 municípios. A frota atual conta com 119 trens disponíveis para operação e faz uma

média de 2.250 viagens por dia útil. Só as estações Brás, Luz e Barra Funda recebem, juntas, quase 50% do movimento diário total. Quase sete mil ferroviários trabalham na Companhia para manter esse sistema em funcionamento.

- Linhas 7-Rubi (Luz a Jundiaí) e 10-Turquesa (Luz a Rio Grande da Serra) foram herança da Estrada de Ferro Santos a Jundiaí, sendo durante um século, a ferrovia mais rentável da América do Sul, escoando grande parte do café brasileiro para o mundo.
- Linhas 8-Diamante (Júlio Prestes a Amador Bueno) e 9-Esmeralda (Osasco a Grajaú) são heranças da antiga Sorocabana. A estrada de ferro Sorocabana foi responsável pelo desenvolvimento do oeste do Estado de São Paulo.
- Linhas 11-Coral (Luz a Estudantes) e 12-Safira (Brás a Calmon Viana) são partes da Estrada de Ferro Central do Brasil, sendo que, antigamente, eram o único meio de comunicação entre os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Atualmente, a CPTM possui supervisão de tráfego através de dois Centros de Controle Operacionais (CCO).

As Linhas 7-Rubi e 10-Turquesa são controladas a partir do CCO instalado junto à Estação Luz.

As Linhas 8-Diamante, 9-Esmeralda, 11-Coral e 12-Safira são controladas a partir do CCO instalado na estação Brás.

A previsão de unificação dos CCO's no Brás ocorrerá até meados do ano de 2011, finalizando, assim, mais uma etapa de melhorias da empresa.

A seguir, apresenta-se na figura 2.2, a distribuição das linhas da empresa atualmente em operação, bem como as futuras linhas 13 e 14, a Linha 13, que interligará o Brás à estação Zezinho Magalhães, no Parque CECAP, em Guarulhos e a Linha 14, que servirá de acesso da região central de São Paulo até o aeroporto internacional de Guarulhos[3].

2.2. CONCEITOS E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE BLOCO FIXO

Nesta seção são apresentados os equipamentos constituintes do bloco fixo relevantes para as análises efetuadas neste trabalho. Outras informações complementares ao sistema de bloco fixo podem ser observadas no anexo A.

O sistema tradicional de sinalização ou também chamado de Bloco Fixo, é composto de Circuitos de Via, Sinaleiros, Intertravamento, Relés Vitais, subsistemas de Controle Automático de Trens (ATC) e, mais recentemente, subsistema de Controle Automático de Operação (ATO).

2.2.1. Sistema de Comunicação de dados

Realiza as comunicações de dados entre os trens, equipamentos de via e até o CCO, possibilitando o controle operacional dos trens.

2.2.2. Reles Vitais

Os dispositivos utilizados em sistemas vitais devem ter características especiais, para poderem atender aos requisitos destes sistemas. Basicamente, uma falha em um componente do dispositivo deve levá-lo, necessariamente, a um estado mais restritivo (estado seguro).

Estes dispositivos foram sendo desenvolvidos no decorrer dos anos, principalmente pela indústria de sinalização ferroviária, para atenderem estas características especiais e que tem, pelo menos, um modo de falha, com probabilidade tão baixa de ocorrer, que pode ser considerada zero. Os relês que atendem estas características são chamados Relês Vitais, com as seguintes falhas possíveis:

Bobina em curto, resistência de contato alta e fusão de contatos traseiros (back).

2.2.3. Circuito de Via

O circuito de via é a base do sistema de sinalização de uma ferrovia. A partir da informação da presença ou ausência (**detecção de trens**) de uma composição ferroviária em um determinado trecho de via, são definidos e controlados todos os circuitos lógicos do Intertravamento vital (elétricos e eletrônicos), que garantem a segurança da operação de tráfego.

Nas linhas da CPTM são utilizados circuitos de via CA, na frequência de 60 Hz ou 90

Hz de bobina dupla, cujo elemento principal é o relê CA de via, do tipo Vane, e os Circuitos de Áudio Frequência Overlay (AFO - Áudio Frequência Sobreposta).

Esses tipos de circuito são utilizados em linhas eletrificadas para que a corrente contínua de tração não interfira com a alimentação de relê.

Na figura 2.3, é mostrado um circuito de via na sua forma mais simplificada. Os trilhos são divididos em seções adjacentes e independentes, por meio de juntas isolantes. Um dos lados desta seção está conectado a uma fonte de alimentação e o outro está ligado ao relê de via.

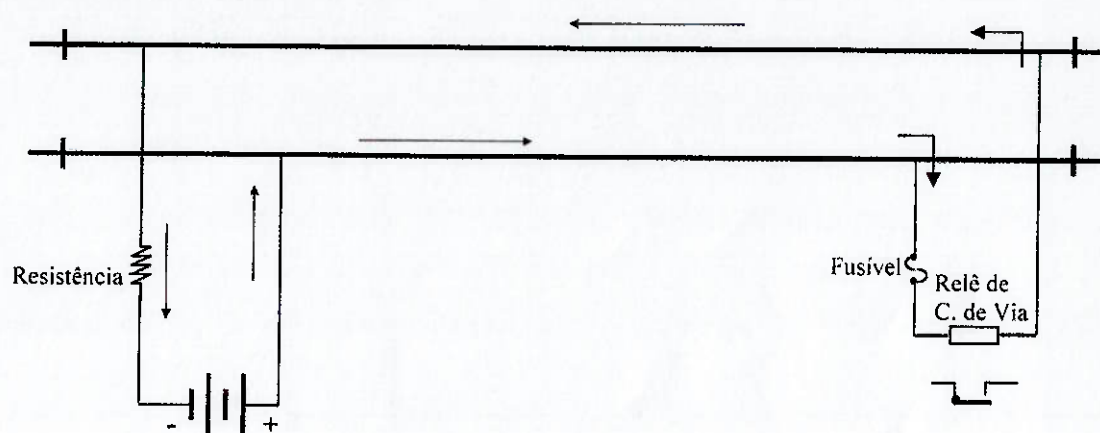


Figura 2.3-Circuito de via típico simplificado

Na figura 2.4, quando o circuito está desocupado (sem o trem no circuito), a corrente da fonte de alimentação circula, através do resistor, para os trilhos, percorrendo o caminho indicado e, conseqüentemente, alimentando o relê de via, fazendo com que seus contatos superiores fiquem fechados.

Quando o trem ocupa o circuito, por existir um caminho mais fácil através das rodas e eixos do trem, a corrente da fonte não circula mais pelo relê, desoperando-o e fazendo com que seus contatos superiores se abram.

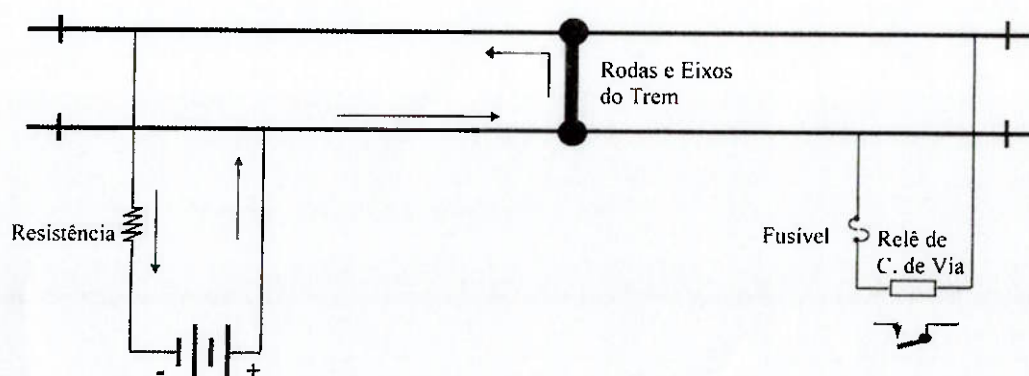


Figura 2.4-Circuito de via ocupado

No circuito real, um resistor é colocado em série junto à fonte de alimentação, com a função de limitar a corrente, no caso de ocupação, a valores razoáveis, protegendo aquela fonte de alimentação.

2.2.3.1. circuito de via de dois trilhos

Neste tipo de circuito de via conforme figura 2.5, ambos os trilhos são isolados e, portanto, deve-se fornecer um caminho fácil de retorno para a corrente contínua de tração e impedir a corrente alternada de circular entre os circuitos de via vizinhos. Isto é conseguido utilizando-se uma bobina de impedância, que nada mais é do que uma alta impedância a corrente alternada e uma baixa resistência a corrente contínua.

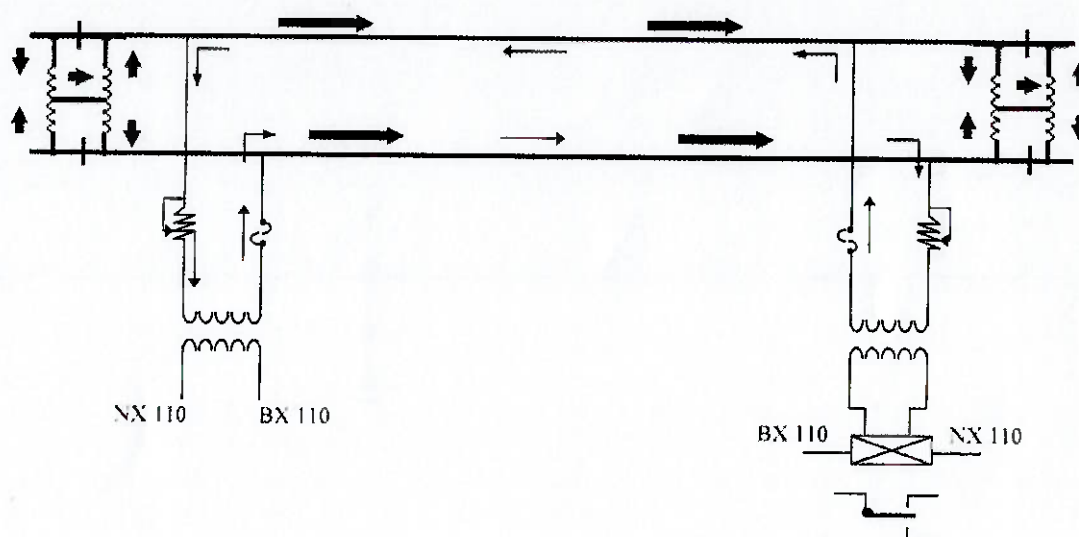


Figura 2.5-Circuito de via de dois trilhos

2.2.3.2. Bonde de Impedância

Na figura 2.6, o bonde de impedância consiste essencialmente de um núcleo de aço laminado no interior de duas bobinas de enrolamentos opostos e ligadas em série, a qual é ligada entre os trilhos. Para a aplicação dos circuitos de via, utilizam-se dois bondes ligados em paralelo. A corrente de tração CC entra no bonde pelos terminais laterais, passando pelo centro das bobinas ligadas em paralelo e saindo pelos terminais laterais do outro bonde.

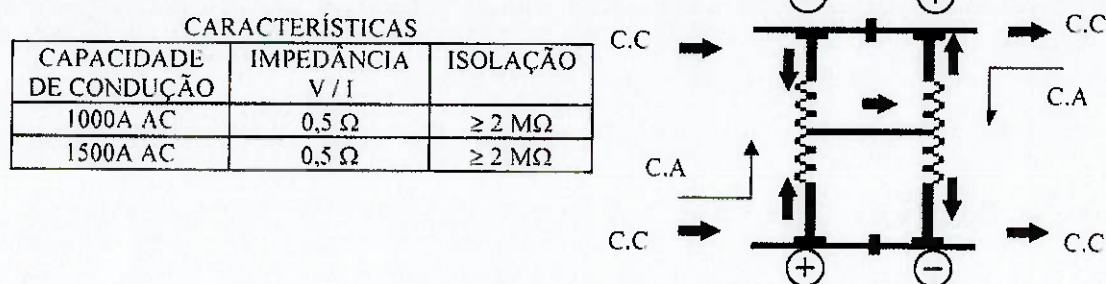


Figura 2.6-Bonde de Impedância

2.2.4. Intertravamento

Conjunto de equipamentos integrantes do Sistema de Sinalização de Campo, cujas características de projeto dos respectivos circuitos elétricos responsáveis por sua operação determinam uma sequência de operações interligadas, que possibilitará o alinhamento e autorização de rotas e a determinação do nível de velocidade imposta às composições, em estrita obediência ao princípio da falha segura.

2.2.5. Sinais

São chamados sinais os semáforos instalados à margem da via, ou mais especificamente, nas regiões de AMV's (Aparelhos de Mudança de Via) e servem para sinalizar o estado dos AMV's aos trens em Operação Normal e Manual.

2.2.6. ATC e ATO

Estes dois subsistemas serão apresentados no capítulo 4, "Alguns Aspectos Relevantes da Implementação dos Sistemas de Sinalização e Controle", deste trabalho[4-5].

3. CONCEITOS E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA CBTC

Para que se eleve a velocidade e automatismo dos trens, há a necessidade de um sistema de comunicação e detecção da localização dos trens mais rápido e eficaz. Após anos de estudo e pesquisas em campo, a solução encontrada foi a utilização de um sistema via radiocomunicação, que elimina ou, no mínimo, atenua de forma significativa os problemas do sistema tradicional ocasionados por falhas elétricas e mecânicas. Dessa necessidade de evolução surgiu o CBTC (*Communication Based Train Control* ou Controle de Trens Baseado em Comunicação).

A França foi o primeiro país a utilizar esta tecnologia em linhas de alta capacidade, em 1998, na linha 14, de Paris.

O CBTC pode ser definido, usando-se como base a norma IEEE 1474[7], sendo possível afirmar que se trata de um sistema de alta resolução na determinação da localização dos trens, alta capacidade de transporte bidirecional e independente de circuitos de via da sinalização tradicional. Também pode ser chamado de sistema de bloco móvel ou virtual.

Basicamente, o CBTC substitui os circuitos de via e realiza a comunicação e localização dos trens, antes feita por elementos físicos, e agora por elementos *wireless* (sem fio). Possibilita a inserção de novas tecnologias de controle de forma mais eficaz e segura, principalmente devido as diversas redundâncias centralizadas no novo sistema.

A localização das composições é realizada por meio de tacômetros (figura 3.1) e o trem, ao passar por balizas (figura 3.2), afere a sua localização eliminando possíveis erros dos tacômetros. Para mais informações, vide ANEXO C.



Figura 3.1-Tacômetro instalado na extremidade do eixo

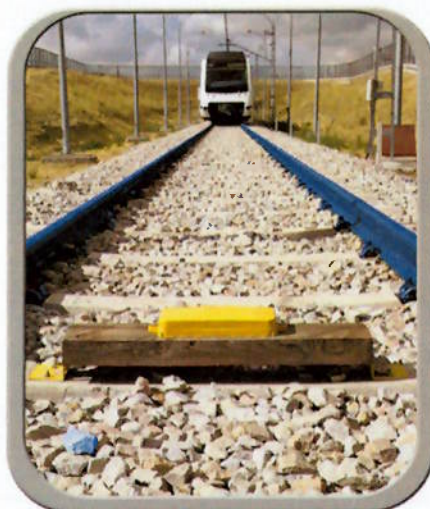


Figura 3.2-Baliza ou Transponder

No sistema CBTC, estão presentes dois tipos de sistemas de radiofrequência. O primeiro faz a comunicação de dados com as repetidoras localizadas na via férrea, tratando de todo o sistema de controle operacional do trem e que será chamada de **sistema de radiofrequência do CBTC** (antena e rádio na Figura 3.3). O segundo sistema de radiofrequência fará a varredura e verificação das balizas (transponder) de aferição de localização dos trens, que chamaremos de **sistema de radiofrequência de varredura** (antena Figura 3.4).

Processadores são responsáveis por executar as funções vitais, podendo estar localizados no CCO (Centro de Controle Operacional), no trem e nas estações.

Outras informações sobre a comunicação no CBTC podem ser vistas no ANEXO D.



Figura 3.3-Antena de Radiocomunicação do CBTC



Figura 3.4-Antena de Radiofrequência de Varredura

O sistema de sinalização CBTC possui comunicação Terra-Trem contínua de alta capacidade e bidirecional, ficando a cargo de subsistemas o controle dos trens pelo sistema de ATO e ATP, que é intrínseco ao CBTC, conforme tópico no item 3.2 deste capítulo.

O trem emite sua localização e troca informações via sistema de radiofrequência do CBTC, com as ERB's (Estações Rádio Base) ao longo da via, as quais transmitem esta informação ao CCO (Centro de Controle Operacional). Essa comunicação é efetuada através de uma das seguintes frequências: 900 MHz, 2,4 GHz ou 5,8 GHz. Realizando esta comunicação por meio de sistema de rádio e não mais por sinalização tradicional, elimina-se algumas falhas que ocorrem no sistema tradicional devido à utilização de cabos, relés e outros dispositivos, aumentando, assim, a confiabilidade do sistema.

Os cálculos de velocidade, aceleração e frenagem sempre serão efetuados automaticamente pelo sistema de controle, sendo refeitos constantemente, a partir das informações disponibilizadas pelos tacômetros e balizas. Levando-se em conta essa aferição constante do sistema e constante monitoramento das condições operacionais, é possível prever uma redução da frota em até 5%, já que estar-se-á otimizando a utilização e consequentemente um maior controle da circulação dos trens [5].

O custo permanente de manutenção no sistema sofrerá significativa redução, tendo em vista uma elevação da confiabilidade e redução do quantitativo de equipamentos na via férrea que venham a causar falhas ao sistema.

O aumento da confiabilidade e flexibilidade operacional permitirá maior aproximação entre trens e melhor recuperação em caso de eventuais atrasos ocorridos durante a

operação comercial, já que todo sistema é interligado e mantém constante comunicação.

Todos os fatores anteriormente apresentados e a implementação do automatismo pleno na circulação dos trens permitirão uma redução dos custos da operação do sistema.

Será realizada a adequação do intervalo entre trens, de acordo com os horários e dias da semana, ou seja, dependendo da demanda imediata.

O sistema possibilitará efetuar o controle do tráfego, incluindo informações de diversas características de via-permanente ou do trem, informando rampas, falhas e demais itens que alterem o perfil da viagem; com isso existirá uma otimização no consumo de energia elétrica dos trens devido ao controle do ATO (*Automatic Train Operation* - Operação Automático de Trens); essa melhor utilização da energia será devido ao controle operacional, que acarretará uma inserção de composições praticamente ideal, ao eliminar os excessos. Esta questão será tratada no capítulo 4. O gerenciamento será contínuo, possibilitando relatórios e diagnósticos mais rápidos, disponibilizando de forma instantânea as informações, assim como a rápida atuação da equipe de manutenção, seja ela realizada de forma remota ou local.

A seguir são apresentadas, outras informações importantes relativas ao sistema CBTC [6]:

- Capacidade de tráfego misto, na mesma via, de trens devidamente equipados com sistema CBTC operando conjuntamente com trens equipados com sistemas convencionais de controle (e.g. trens de carga), ou mesmo com trens sem qualquer equipamento de sinalização de bordo.
- Localização autônoma de trem a bordo (via balizas ao longo da via) e inteligência a bordo para permitir flexibilidade operacional. Cada trem opera com seu melhor desempenho;
- Alta confiabilidade e disponibilidade graças à grande redundância de todos os equipamentos;
- Enlace de transmissão bidirecional contínua entre os equipamentos nas laterais da via e a bordo dos trens. O subsistema de transmissão é projetado e implementado para aceitar curtas perdas de transmissão sem afetar a operação dos trens e com isso aumentar a disponibilidade. O enlace será independente do meio de transmissão. Nenhum recurso de segurança é

necessário no subsistema de transmissão, pois todas as informações estão vitalmente protegidas por codificação de dados. O enlace de transmissão é utilizado somente para a troca de dados;

- Transmissão de rádio utilizando a tecnologia DSSS¹ com propagação em vários caminhos. Para mais informações vide ANEXO B;
- Equipamentos de Teste Incorporados e alarmes de manutenção centralizados que indicam ao responsável pela manutenção a unidade a ser substituída. Após os reparos, a reinicialização em campo do equipamento é automática;
- Modo de condução manual sob controle do ATP (Automatic Train Protection – Proteção Automática de Trens);
- Manutenção em oficina – Ferramentas de teste automatizadas também são validadas na operação; Supervisão centralizada e capacidade de gravação de eventos, permitindo dessa forma um fácil entendimento de qualquer situação regular e irregular pelo condutor e a operação completa da linha a partir de um único local;
- Utilização de bancos de dados e ferramentas de geração para cada característica do trem, layout de via e interface, como exigidas por todos os equipamentos de ATC (Automatic Train Control – Controle Automático de Trens), a bordo, na lateral da via e ATS (Automatic Train Supervision – Supervisão Automática de Trens);
- Utilização de padrões industriais.

¹ DSSS-Direct Sequence Spread Spectrum-corresponde a um método de modulação através de espalhamento espectral de sequência direta, isto é, gera uma sequência rápida pseudoaleatória com transição de fase portadora de acordo com os dados transmitidos.

3.1. Principais normas relacionadas ao CBTC

Padronização do CBTC

As primeiras implantações do sistema de Controle de Trens Baseado em Comunicações (CBTC) esbarraram na falta de padronização, notadamente com relação a ausência interoperabilidade entre equipamentos, sistemas, subsistemas e a falta de padrões industriais para esta tecnologia.

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* ou IEEE criou diversos grupos de trabalho para elaboração de padrões de consenso entre os fornecedores, considerando os requisitos de sistemas e subsistemas para metrô e ferrovias.

O escopo de um desses padrões visou estabelecer requisitos funcionais e de desempenho necessários ao sistema CBTC, garantindo a disponibilidade, funções operacionais e proteção segura dos trens. Tal padrão foi denominado "IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements – IEEE-1474-1[1].

Esta padronização permitiu às operadoras conhecerem e especificarem os seus sistemas e aos fornecedores focarem seus esforços no desenvolvimento de pontos específicos do sistema.

As especificações básicas do sistema CBTC se baseiam fundamentalmente em documentos elaborados pela IEEE 1474 (Práticas Recomendadas para Controle de Trens Baseado em Comunicação), responsável pela definição das principais características do sistema CBTC, conforme abaixo:

IEEE 1474.1- Desempenho e requisitos funcionais [7]

Define o Controle de Trens Baseado em Comunicações (CBTC) como sendo um sistema de alto desempenho que supera os sistemas tradicionais que utilizam circuitos de via, podendo com isso, melhor utilizar a infraestrutura, possibilitando:

- Redução do intervalo entre trens, garantindo a separação contínua e segura entre trens, bem como a proteção contra excesso de velocidade;
- Melhora da confiabilidade e redução dos custos de manutenção por meio da redução dos equipamentos nas laterais da via e informações de diagnósticos em tempo real.

IEEE 1474.2- Requisitos de Interface de Usuário em Sistemas CBTC [8]

Define os requisitos de interface de usuário para o Controle de Trens Baseado em Comunicação (CBTC).

Essa norma determina os requisitos necessários para interface de comunicação em sistemas de controle de trens que utilizam CBTC. Este padrão é dividido em **sete** cláusulas: a cláusula **um** fornece escopo e proposta desta comunicação; a cláusula **dois** lista referências de outros padrões que são úteis na aplicação deste padrão; a cláusula **três** fornece também definições que não são encontradas em outros padrões ou que tenham sido modificadas por meio do uso deste padrão; a cláusula **quatro** define o requisito do uso e aplicação de interfaces gerais do CBTC embarcado e não embarcado (trem e via), incluindo as funções de manutenção e operação; a cláusula **cinco** define e especifica os requisitos dos subsistemas embarcados, incluindo quais informações devem ser exibidas e um procedimento de como devem ser expostas, com ênfase específica das funções operacionais; a cláusula **seis** define o requisito do uso de interface similar para subsistemas não embarcados e a cláusula **sete** define o requisito de uso e aplicação de interface para diagnósticos de manutenção.

IEEE 1474.3- Práticas recomendadas para CBTC [9]

- Recomenda a arquitetura do sistema e atribuições funcionais.

IEEE 1473-L-1999 - Protocolo de Comunicação a bordo dos trens [9]

Esse documento define o protocolo serial de comunicação de dados entre os subsistemas a bordo dos trens de passageiros, no próprio carro e entre os carros da composição e, também, propõe os parâmetros mínimos aceitáveis para possibilitar o controle e monitoramento simultâneo de uma rede de sistemas ao CBTC.

Embora a rede não seja vital, é destinada a transmitir informações com segurança entre os carros da composição.

O padrão está estruturado conforme o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) de sete camadas e padrão ISO (*International Standards Organizations*).

A figura 3.5 ilustra a configuração interna de uma rede de comunicação de uma composição equipada com CBTC de acordo com o IEEE 1473-L. [9]

A comunicação entre os carros é feita através de canais que usam protocolos padrão de comunicação E1 de 2Mbt/s (europeu) ou de 1,5Mbit/s (americano).

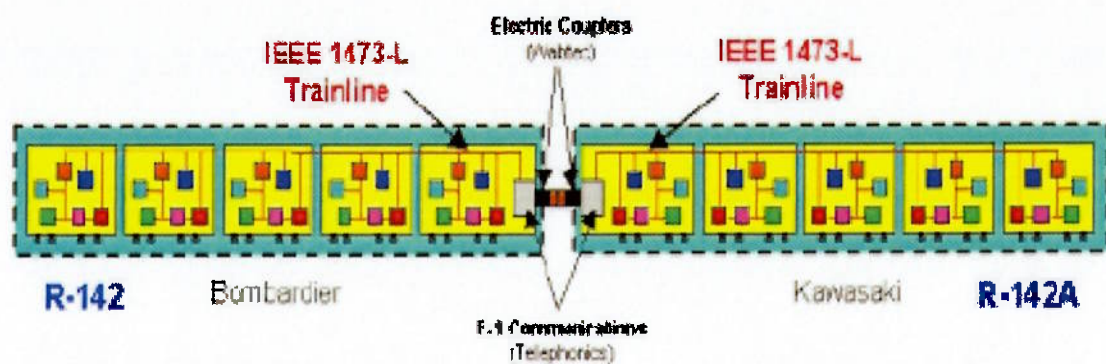
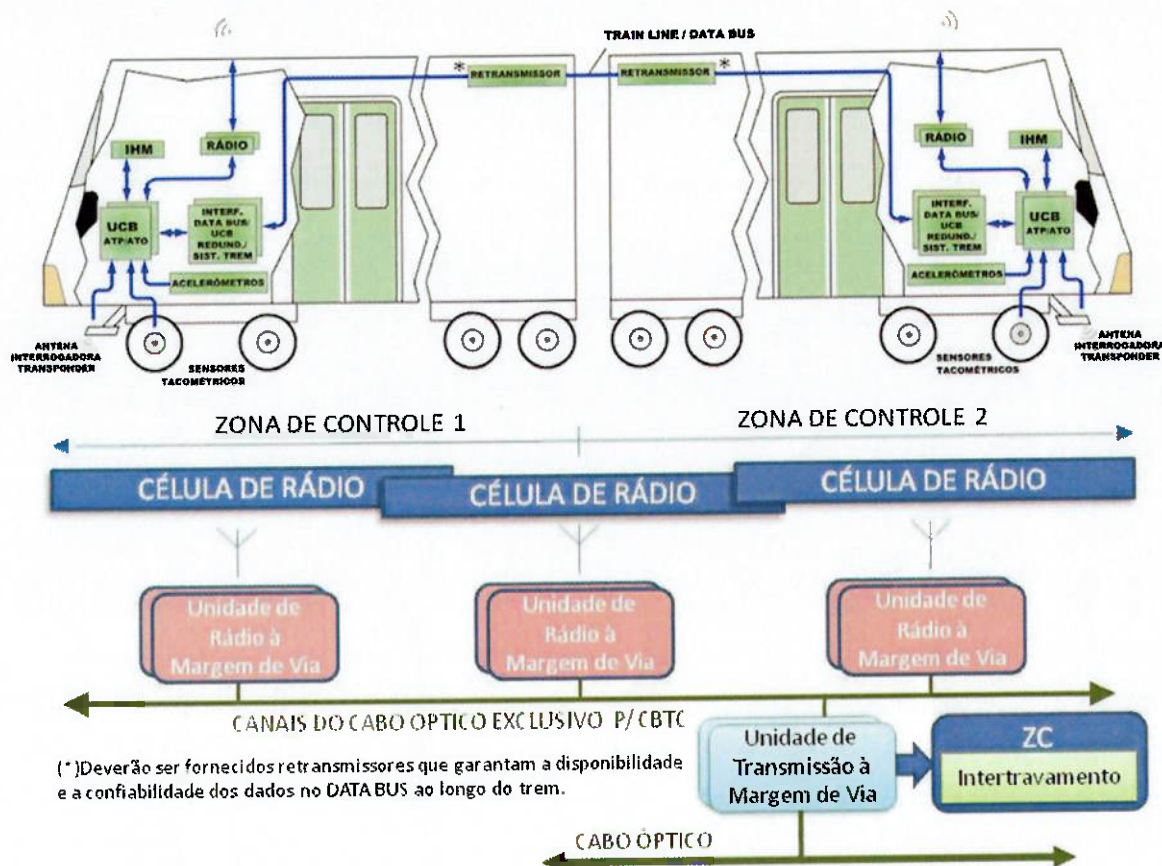


Figura 3.5 – Rede interna de comunicação de uma composição equipada com CBTC [9]

3.2. Esquema típico de interação Trem e Via no sistema CBTC

Na figura 3.6, são apresentados: a interação do trem com a via, seus subsistemas e as interfaces da transmissão de dados para o CCO:



O trem, por meio da antena de radiofrequência de varredura (localizada na parte inferior da composição), emitirá um sinal de interrogação para diversas balizas localizadas ao longo da via e receberá a localização desta para aferição; estas balizas são necessárias apenas para eliminar qualquer erro do sistema, já que a localização será realizada pelos tacômetros do trem.

O trem emitirá e receberá as informações necessárias para sua operação, comunicando-se com as Repetidoras (Unidades de Rádio à Margem da Via), pelo sistema de radiofrequência do CBTC (antena localizada na parte superior da composição). As repetidoras transmitirão as informações, por um Sistema de Transmissão Óptico – STO, aos equipamentos que farão o intertravamento e que são chamados de equipamentos de funções vitais localizados ao longo da via; estes equipamentos transmitirão ao CCO as informações necessárias para a supervisão operacional por meio de outro sistema de STO. De maneira geral o CBTC requer

dois sistemas de STO, um que interliga os equipamentos vitais ao CCO e outro que interliga todos os equipamentos vitais ao longo da via férrea.

O controle automático poderá ser realizado pelos sistemas que estarão ao longo da via, no trem ou no CCO, mas sempre estará sobre um rígido intertravamento, para manter a segurança.

Segue uma lista dos itens exibidos na figura 3.6 e sua respectiva funcionalidade:

IHM: Interface homem máquina e possibilita a interação com o maquinista;

UCB ATP/ATO: Equipamento que possibilita a captação de informações, interface com o operador, bem como o transporte de informações para a antena e os cálculos necessários para a operação do trem;

Rádio: Sistema de Radiotransmissão responsável pela comunicação com as células do sistema de radiofrequência do CBTC;

Train Line/Data Bus: Faz a interligação da comunicação entre todos os carros da composição;

Interface DATA BUS UCB REDUND/SISTEM TREM: Realiza a comunicação da informação entre o primeiro e último carro do trem, ou seja trata-se de uma redundância de comunicação train-line/Data Bus;

Acelerômetros: Equipamento que mede a aceleração;

Antena interrogadora de Transponder: Sistema de Radiofrequência de varredura. Afere o posicionamento do trem;

Sensores/Tacômetros: Responsável pela localização do trem. O tacômetro, também conhecido como taquímetro, é um instrumento de medição do número de rotações. A partir deste princípio, ele informa qual a distância percorrida e, com isso, a localização;

Retransmissor: Retransmite informações de um carro ferroviário para outro, assegurando a disponibilidade e confiabilidade dos dados DATA BUS nos extremos do trem;

Zona de Controle: Área delimitada onde serão estabelecidos os limites de controle operacional na via férrea;

Célula de Rádio: Área delimitada onde cada sistema de Rádio do Sistema CBTC de via fará cobertura de radiofrequência;

Unidade de Rádio a Margem da Via: Estações Rádio Base (ERB's) que farão a comunicação do sistema CBTC de via com o trem e utilizarão a Unidade de Transmissão à Margem da Via (STO-Sistema de Transmissão Óptica) para o tráfego das informações para o CCO e demais equipamentos e sistemas;

Canais do Cabo Óptico (ou sistema óptico) Exclusivo para CBTC: canais prioritários utilizados do sistema STO para a comunicação com o CCO e demais equipamentos na via férrea;

ZC/Intertravamento: Controle onde existirá um intertravamento de funções a fim de garantir a segurança na interação entre as zonas de controle;

Intertravamento: Lógica computacional, elétrica ou mecânica, que impossibilitam ações inseguras, determinando uma sequência de operações interligadas que possibilitará o alinhamento e autorização de rotas e a determinação do nível de velocidade imposto às composições, em estrita obediência ao princípio da falha segura;

STO (Sistema de Transmissão Óptico): possibilita a comunicação entre locais sem sofrer atenuação de sinal e, principalmente, elevação da velocidade e banda de transmissão de dados por meio de sinal luz.

3.3. Escolha da frequência do sistema de Rádio CBTC

Esta análise dependerá do País e região em questão, verificando qual a frequência (900MHz, 2,4GHz ou 5,8GHz) e banda livre para implantar o novo sistema, além de uma análise detalhada em campo para a certificação de que não ocorrerá nenhuma interferência acima dos níveis tecnicamente aceitos. [6]

O sistema segue diversas premissas:

- Implementação mais fácil;
- Menor Custo de implantação;
- Manutenção reduzida;
- Menor interferência;
- Capacidade de realizar a microsincronização entre várias bases de rádio na mesma célula, o que significa uma vantagem para definir o tamanho das células (tamanho do trecho de cobertura de cada ERB), independentemente

da configuração do túnel (e.g., sem *handover* entre as bases de rádio na lateral da via).

3.4. Tecnologias utilizadas no Sistema CBTC

O CBTC possibilita a utilização de diversos sistemas e subsistemas, sendo alguns citados a seguir:

- Radiotransmissão em substituição à sinalização tradicional;
- Automação total utilizando-se ATO;
- Utilização de tecnologias de controle com mais recursos, previstas para a segunda e a terceira gerações;
- Implantação de portas de plataforma;
- Gerenciamento pleno dos sistemas, local e remoto.

Outras características desse sistema serão discutidos no próximo capítulo.

4. ALGUNS ASPECTOS RELEVANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE

4.1. Sistemas de Sinalização

Sistema de Sinalização é um conjunto de equipamentos e dispositivos utilizados em Metroferrovias, com a finalidade básica de controlar o tráfego de trens, a fim de evitar colisões e controlar a velocidade. Em resumo, cuida da segurança na movimentação dos trens.

Um Sistema de Sinalização padrão é composto de Sinais, Circuitos de Via, Intertravamento, Subsistemas de Controle Automático de Trens (ATC) e, mais recentemente, Subsistema de Controle Automático de Operação (ATO)[4-5.]

4.1.1. ATO (*Automatic Train Operation ou Operação Automática de Trens*)

O subsistema ATO é responsável pela operação automática da movimentação dos trens, como a sua parada e partida das estações, abertura e fechamento de portas, controle de velocidade e identificação dos trens. É composto por equipamentos instalados nas estações e a bordo dos trens.

O ATO tem dois tipos de funções: aquelas que são realizadas automaticamente e aquelas que são realizadas a partir de solicitações providas dos computadores do CCO ou, na falta deste, através de solicitações efetuadas no painel do ATO.

As principais funções realizadas automaticamente são:

- Leitura de identificação de trens;
- Controle de parada programada de trens nas estações;
- Controle de abertura e fechamento de portas;
- Sinalização de chegada e partida de trens nas plataformas;
- Leitura do nível de desempenho dos trens;
- Manutenção de Velocidade.

As principais funções realizadas através de solicitações do CCO ou dos painéis são:

- Passagem direta de trem pelas estações;
- Controle de tempo de parada;

- Modificação de nível de desempenho, em termos de aceleração e velocidade do trem;
- Carregamento de destino em zonas terminais e de transferência.

4.1.2. ATP (*Automatic Train Protection ou Proteção Automática de Trens*)

O subsistema ATP é responsável pela proteção da movimentação dos trens e é composto por equipamentos instalados nas estações mestras, à margem da via e a bordo dos trens.

O Subsistema ATP engloba as funções ditas vitais do sistema de sinalização e é responsável pela proteção automática na movimentação dos trens, visando:

- Impedir retrocolisões causadas por distanciamento insuficiente entre trens movendo-se no mesmo sentido;
- Impedir o estabelecimento de uma rota conflitante com qualquer outra rota estabelecida;
- Impedir o movimento de trens sobre aparelhos de mudança de via que não estejam corretamente posicionados e travados;
- Impedir o movimento de aparelhos de mudança de via sob um trem ou à frente de um trem em movimento;
- Impedir a circulação de trens em velocidades superiores às permitidas pelo traçado da via ou a qualquer outro limite estabelecido pelas condições operacionais;
- Eliminar ou reduzir a possibilidade de descarrilamentos ou colisões causados por trilhos partidos ou fraturados;
- Deter o movimento dos trens nos finais de linha;
- Permitir a plena utilização dos recursos da via permanente e do material rodante, impedindo apenas os movimentos prejudiciais à segurança.

4.1.3. ATC (*Automatic Train Control ou Controle Automático de Trens*)

O ATC é um sistema no qual o trem recebe sinais da via e códigos de velocidades, os quais representam velocidades limites para o trem e abaixo das quais o maquinista pode trafegar, sem que seja penalizado. As funções de ATC, vitais por estarem diretamente relacionadas com a segurança do sistema, são as seguintes:

- Recepção dos Comandos de Velocidade;
- Decodificação de Velocidade Comandada;

- Proteção Contra Sobre Velocidade;
- Verificação da Velocidade Zero, fornecida pelos tacômetros do trem;
- Controle da Direção de Movimento.

4.1.4. ATS (Automatic Train Supervision ou Supervisão Automática de Trens)

ATS (Automatic Train Supervision ou Supervisão Automática de Trens)

O subsistema ATS é responsável pela supervisão e controle da movimentação dos trens e de sistemas auxiliares, sendo composto por equipamentos localizados no Centro de Controle Operacional (CCO) e nas estações denominadas Mestres.

O sistema ATS tem as mesmas funções do ATC quanto à garantia das condições seguras de movimentação do trem; a diferença básica refere-se à via que está dimensionada, prevendo distâncias de frenagens para um perfil de frenagem VMA (Velocidade Máxima Autorizada) para VR (Velocidade Reduzida). É constituído de equipamentos instalados ao longo da via e a bordo dos trens.

4.2. Evolução dos Sistemas de Controle Ferroviário

Com as exigências de qualidade e rapidez dos serviços metroferroviários, determinadas pelos planos de melhorias das empresas de transportes sobre trilhos, a evolução dos sistemas de controle, em termos da necessidade de aumento da capacidade e maior agilidade e eficiência no transporte de passageiros, veio a ser prioritária. Essa evolução é refletida no automatismo crescente e melhoria do nível da qualidade nos serviços prestados.

Citam-se a seguir as três gerações de controle metroferroviário:

4.2.1. Primeira Geração

Este sistema de controle é apenas utilizado pela sinalização de Bloco Fixo. Possui equipamentos que efetuam a parada do trem, em caso de existir um desrespeito aos sinais de via; indica ao maquinista a velocidade permitida e fornece uma indicação de parada obrigatória no painel de comando da cabine do trem.

Todas as atividades de controle e operação da composição são de responsabilidade do maquinista. São utilizados subsistemas de ATS, ATC e ATP para o controle do tráfego.

4.2.2. Segunda Geração

A segunda geração do sistema de controle, chamada de *"Driverless"*, pode ser utilizada nos sistemas de sinalização de Bloco Fixo e CBTC.

Os subsistemas de controle ATS, ATC, ATP estão presentes nesta geração e mais o ATO que será responsável pela automação da movimentação do trem, parada na estação e abertura/fechamento das portas. O maquinista apenas atuará em caso de falha do sistema automático, tendo a função de supervisor.

4.2.3. Terceira Geração

A terceira geração utiliza apenas o sistema de sinalização CBTC, exclui por completo a atuação ou presença do maquinista, sendo denominada de *"Mainless"*. O sistema utiliza ATS, ATC, ATP e ATO. Todas as suas funcionalidades são realizadas de forma totalmente automática, ficando a cargo do CCO atuar em caso de falha. A confiabilidade, disponibilidade e segurança do sistema são adequadas para o elevado nível de automatismo e redundância presente.

4.3. Ganho com a evolução dos Sistemas de Controle Ferroviário

O gráfico 4.1 mostra os ganhos possíveis em termos de eficiência na utilização e operação do material rodante, em função do modelo de sistema de controle implementado em um sistema de transporte ferroviário. É possível verificar uma grande diferença entre os sistemas tradicionais (primeira geração) de Bloco Fixo e sistemas mais novos (segunda e terceira geração), utilizando-se o CBTC, devido aos ganhos operacionais, em termos de quantidade e flexibilidade de trens nas linhas.

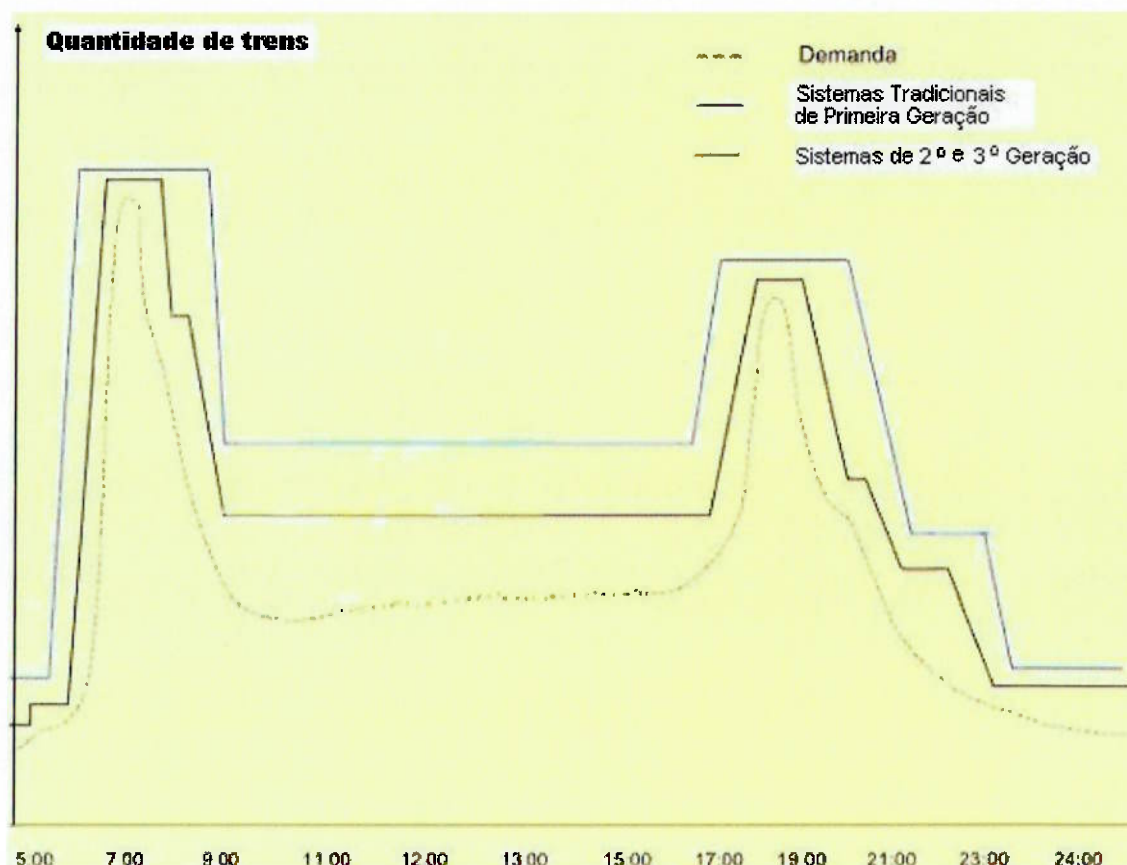


Gráfico 4.1-Curva típica de Demanda x Oferta

Como já foi exposto no item 4.2.2, o sistema de segunda geração pode utilizar tanto o Bloco Fixo como CBTC para a sinalização, mas no caso da utilização do Bloco Fixo, além do *headway* (intervalo entre trens) e a flexibilidade não serem as melhores possíveis (baixo *headway* e alta flexibilidade) como é no CBTC, este sistema sofrerá degradação com as limitações impostas pela falta de comunicação de dados operacionais, levando o sistema automático (ATO) a trabalhar com, apenas, parte da sua capacidade.

Os sistemas de controle de segunda e terceira gerações, juntamente com o CBTC, possibilitam maior otimização operacional na entrada e saída das composições (trens) na via férrea e, como consequência, melhor flexibilidade operacional devido à grande comunicação de dados entre os sistemas envolvidos, sistemas estes provenientes dos trens, do CCO, das estações e, com isso, possibilita ao sistema tomar decisões mais rápidas em face do elevado nível de automatismo e comunicação de dados presente nestas duas arquiteturas. Como consequências principais, o sistema de controle pode eliminar a necessidade operacional de um número de trens maior que o estritamente necessário, reduz a energia elétrica

fornecida pelas subestações, consumida pelos trens (tendo em vista que existirá um menor número de trens em circulação em determinados horários da operação normal). Será possível a redução ou uma melhor distribuição das equipes de operação e de manutenção em todo o sistema, bem como maior planejamento das atividades destes dois setores da empresa.

A utilização de gerações de controle mais novas como o sistema de sinalização CBTC visam, em geral, o aumento da confiabilidade, mantendo-se a segurança, reduzindo-se os custos permanentes de operação e manutenção.

4.4. Análise das etapas de Processamento do CBTC e do Bloco Fixo

4.4.1. Processamento do Sistema CBTC

Por meio de Diagrama em Blocos, é possível verificar as possíveis interferências e respectivas entrada e saída de informações, comandos e a diferença dos dois sistemas de sinalização em estudo com relação à localização dos trens.

O sistema CBTC possui grande resolução na determinação da localização de um trem na via, chegando a um metro de precisão, enquanto que, no Bloco Fixo, a precisão dependerá do tamanho do circuito de via (em torno de 300 metros).

Para esta análise, leva-se em consideração os trens A e B, como mostrados na figura 4.1, tanto para o CBTC quanto para o Bloco Fixo:

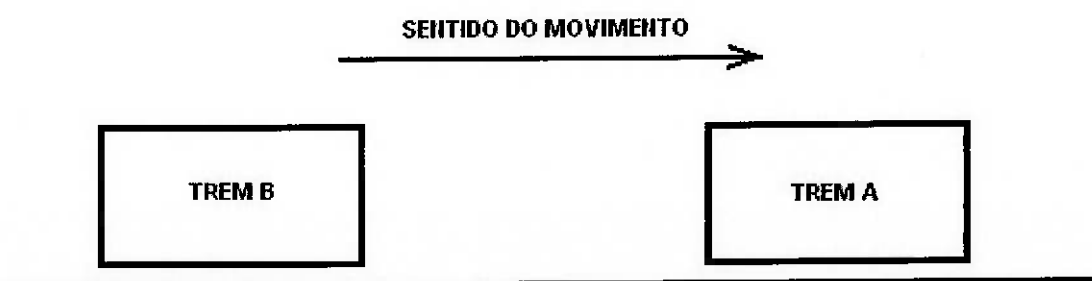


Figura 4.1-Esquema de movimento geral de trens para análise de bloco de processamento

Com a determinação da posição do trem realizada pelos tacômetros e balizas, é possível o cálculo da velocidade, aceleração, desaceleração, tempo de parada na

plataforma da estação e todos os demais cálculos operacionais. Esse algoritmo é ilustrado no diagrama de bloco típico do sistema CBTC, mostrado na figura 4.2.[10].

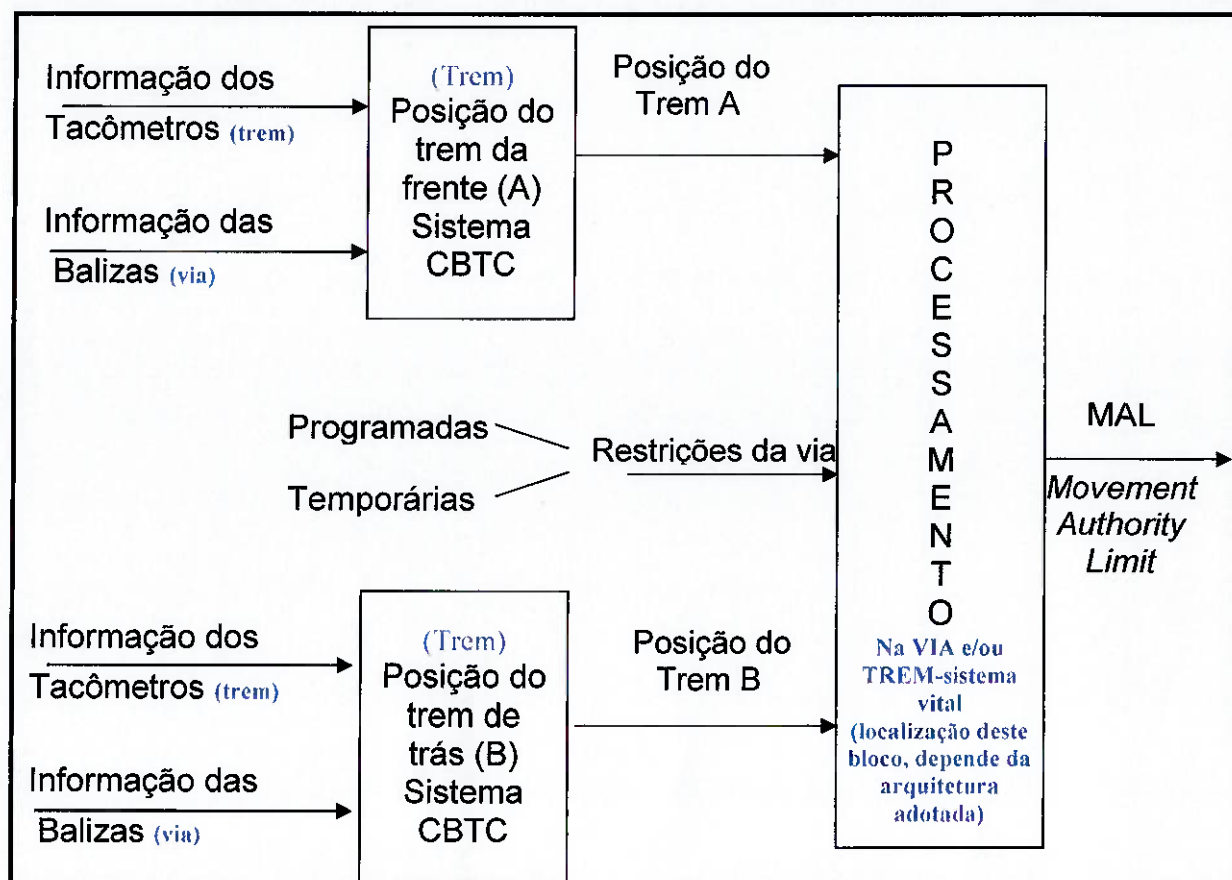


Figura 4.2-Diagrama de Blocos do sistema CBTC

O trem A, por meio de sensores de posição (tacômetros e balizas), identifica sua posição ao longo da via e encaminha esta informação para o Bloco de Processamento, que também receberá as demais informações de restrição da via (estado dos sinaleiros, restrição do perfil de via e posição das máquinas de chave).

A localização do equipamento de processamento dependerá da arquitetura adotada para o CBTC, podendo estar no Trem e na VIA, ou, apenas, na VIA, enquanto o bloco de posição estará sempre no Trem.

As informações do Bloco de Processamento serão transmitidas para que exista um recálculo do perfil de viagem do trem B que está atrás; este irá verificar a distância de segurança e seus dados operacionais comparado ao trem A, logo a sua frente.

De maneira macro, o sistema terá zonas de controle (ZC), conforme figura 3.6 do capítulo 3, que farão a supervisão, controle e automatismo de cada região; os equipamentos de cada zona de controle transmitirão estas informações para o CCO realizar a supervisão total do sistema.

4.4.2. Processamento do Sistema de Bloco Fixo

No Bloco Fixo, todas as etapas estarão na via férrea e não no trem. O trem apenas receberá o sinal de ATC informando a velocidade que este deve manter naquele trecho da viagem e parada obrigatória, conforme mostrado na figura 4.3.

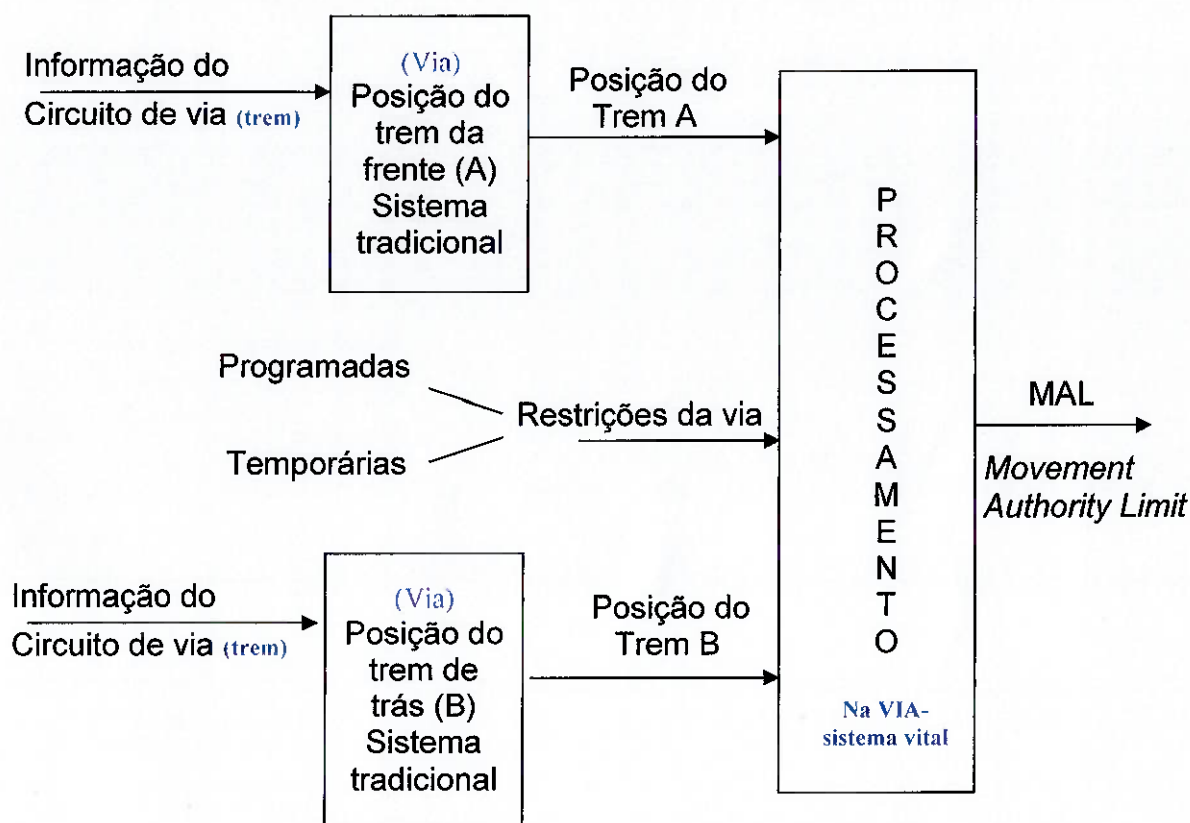


Figura 4.3-Diagrama de Blocos do sistema de Bloco Fixo

O circuito de via que o trem A estiver ocupando informará a localização que será transmitida para o Bloco de Processamento.

O Bloco de Processamento estará localizado na via e transmitirá as informações resultantes do seu trabalho ao intertravamento vital no campo e este, para o CCO para que realize o controle operacional e supervisão. O sistema também possui zonas de intertravamento, mas em maior quantidade que o CBTC. Comparativamente ao Sistema CBTC, o sistema de bloco fixo possui uma maior quantidade de equipamentos nas zonas de intertravamento. (e.g. cerca de 50% maior).

4.4.3. Análise comparativa dos blocos de processamento CBTC e Fixo

Comparando os dois sistemas, verifica-se que a quantidade de informações operacionais, redundância e localização dos elementos dos Blocos serão diferentes. No caso do CBTC, o processamento (sistema vital) será realizado na via e/ou trem, enquanto que, no Bloco Fixo, será realizado apenas na via. O sistema de localização do trem estará nele próprio e terá uma aferição, utilizando-se tacômetros e balizas quando no CBTC, enquanto que no Bloco Fixo apenas existirão os circuitos de via para determinar a localização.

Os blocos de processamento dos dois sistemas possuem praticamente a mesma arquitetura, mas o CBTC possui maior volume de comunicação de dados de controle entre o trem e o sistema de controle operacional, precisão elevada na localização dos trens devido à sua arquitetura mais avançada, maiores recursos de comunicação entre trem e via, além de ficar clara a maior confiabilidade das informações devido à precisão e a aferição indicada no bloco típico de processamento.

No sistema CBTC, o tacômetro fará a identificação da localização, enquanto que as balizas exercerão a aferição. Os sistemas de Bloco Fixo só possuem um sistema que fornece a localização, que são os circuitos de via, os quais possuem baixa resolução.

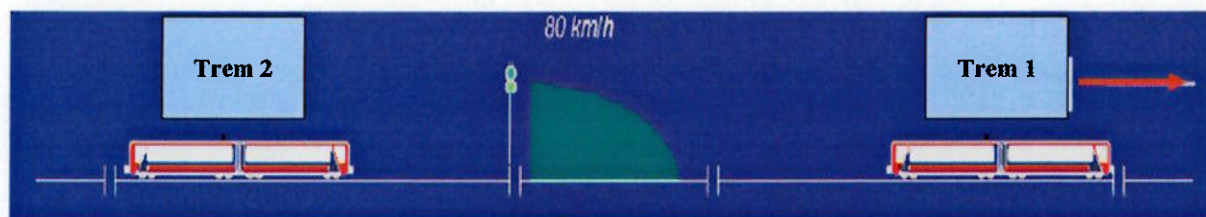
Caso o sistema CBTC tenha baixa precisão dos tacômetros e a distância entre as balizas seja elevada, serão efetuados cálculos identificando o sistema de localização como estando com nível de precisão baixo e para garantir a segurança do tráfego dos trens, as distâncias serão maiores entre as composições. Para o sistema trabalhar com menores precisões há duas possibilidades: o sistema pode ter sido implementado com características de um nível de resolução não tão elevado, ou podem ter ocorrido falhas ou degradação do sistema ocasionado por qualquer falha de equipamentos. Mas, em qualquer um dos casos, o sistema de localização CBTC será superior ao do Bloco Fixo.

Conforme visto no item 4.4, o sistema de localização do CBTC é superior ao de Bloco Fixo devido à maior resolução e comunicação de dados entre o trem e a via férrea.

5. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMA CBTC E BLOCO FIXO

A figura 5.1 mostra, de maneira simples, uma comparação entre os dois sistemas de sinalização, mostrando de que forma o sistema se comportará com relação a quantidade de trens na via. A partir dos próximos itens, é apresentada uma comparação entre os dois sistemas.

Bloco Fixo



CBTC

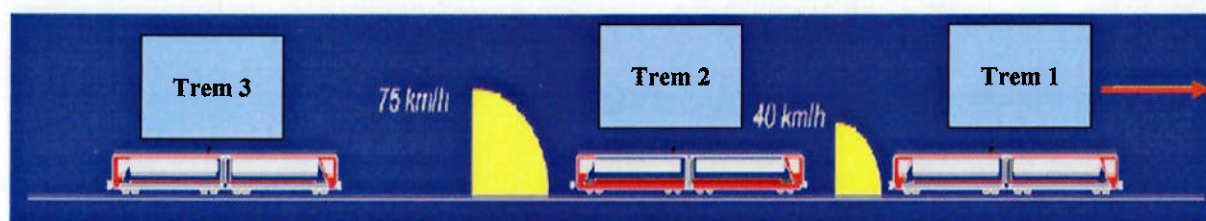


Figura 5.1- Comparação entre Bloco Fixo e CBTC

5.1. Confiabilidade, Disponibilidade e Segurança

5.1.1. Confiabilidade (Reliability):

O conceito de confiabilidade corresponde à probabilidade de um determinado sistema operar corretamente, ou seja, de acordo com sua especificação de requisitos, durante um determinado intervalo completo de tempo.

Desta forma, confiabilidade é a probabilidade condicional de que o sistema irá desempenhar corretamente no intervalo de tempo, dado que o sistema estava desempenhando corretamente no instante t_0 . Trata-se de uma probabilidade condicional, pois ela depende do sistema estar operacional no início deste intervalo de tempo escolhido.

De forma complementar, pode-se definir o conceito de Não-confiabilidade. A Não-Confiabilidade ("Unreliability") é definida como a probabilidade de um sistema realizar as tarefas de maneira incorreta, ou seja, desrespeitando sua especificação de requisitos, durante um intervalo de tempo, dado que o sistema estava

desempenhando corretamente no instante. Este conceito também é conhecido como Probabilidade de Falha.

O conceito de Tolerância à Falha corresponde a uma técnica que pode aumentar a confiabilidade de um sistema. No entanto, um sistema, com quatro características de tolerância a defeito, não apresenta, necessariamente, uma alta confiabilidade. Da mesma forma, pode-se afirmar que um sistema com alta confiabilidade não necessariamente possui características de tolerância a defeito [11].

5.1.2. Disponibilidade (Availability):

O conceito de disponibilidade corresponde à probabilidade de um determinado sistema estar operando corretamente e disponível para realizar suas funções num instante de tempo t . Assim, a disponibilidade difere da confiabilidade, de forma que a confiabilidade depende de um intervalo de tempo enquanto que a disponibilidade é avaliada em um instante de tempo.

A disponibilidade depende então, não apenas o quão frequente um sistema torna-se inoperante, mas também o quão rápido o sistema pode ser reparado.

Num caso prático, um processador reserva pode desempenhar as funções do sistema, enquanto o processador principal estiver sendo reparado, conservando, desta forma, o sistema disponível para uso final [11].

5.1.3. Segurança (Safety)

Este item não será tratado de forma aprofundada neste trabalho. No entanto, independentemente do sistema de sinalização os princípios de segurança contemplam sempre a ocorrência de falha segura. Maiores detalhes podem ser vistos nos Anexos D e E.

5.2. Comparação de oferta versus demanda

No gráfico 5.1, é apresentada a curva de demanda e oferta da linha 11, hoje em funcionamento na CPTM. Fica evidente a baixa flexibilidade nos sistemas tradicionais utilizando o Bloco Fixo. Por exemplo, no pico da manhã entre as 4:45 e 5:00 h., a oferta foi de 6.000 lugares enquanto que a demanda era de apenas 2.600 lugares, oferta essa, muito acima do necessário. Outro exemplo pode ser observado

no pico da tarde entre 18:00 e 18:15 h., quando a oferta foi de apenas de 6.000 lugares, enquanto que a demanda supera os 8.200 lugares, gerando desconforto, superlotação das plataformas e maior espera pelo embarque.

O sistema tradicional possui limitações que afetam diretamente a operação, fornecendo baixa oferta de lugares quando é necessária uma oferta maior e alta oferta, quando o sistema não necessita de tantos lugares.

Dessa forma verifica-se que a implementação do sistema CBTC trará evolução ao sistema da linha 11, tanto quanto para as demais linhas, conforme está exposto na curva do item 4.3, aumentando a flexibilidade e reduzindo o *headway* dos 6 minutos atuais para 3 minutos, com o sistema novo.

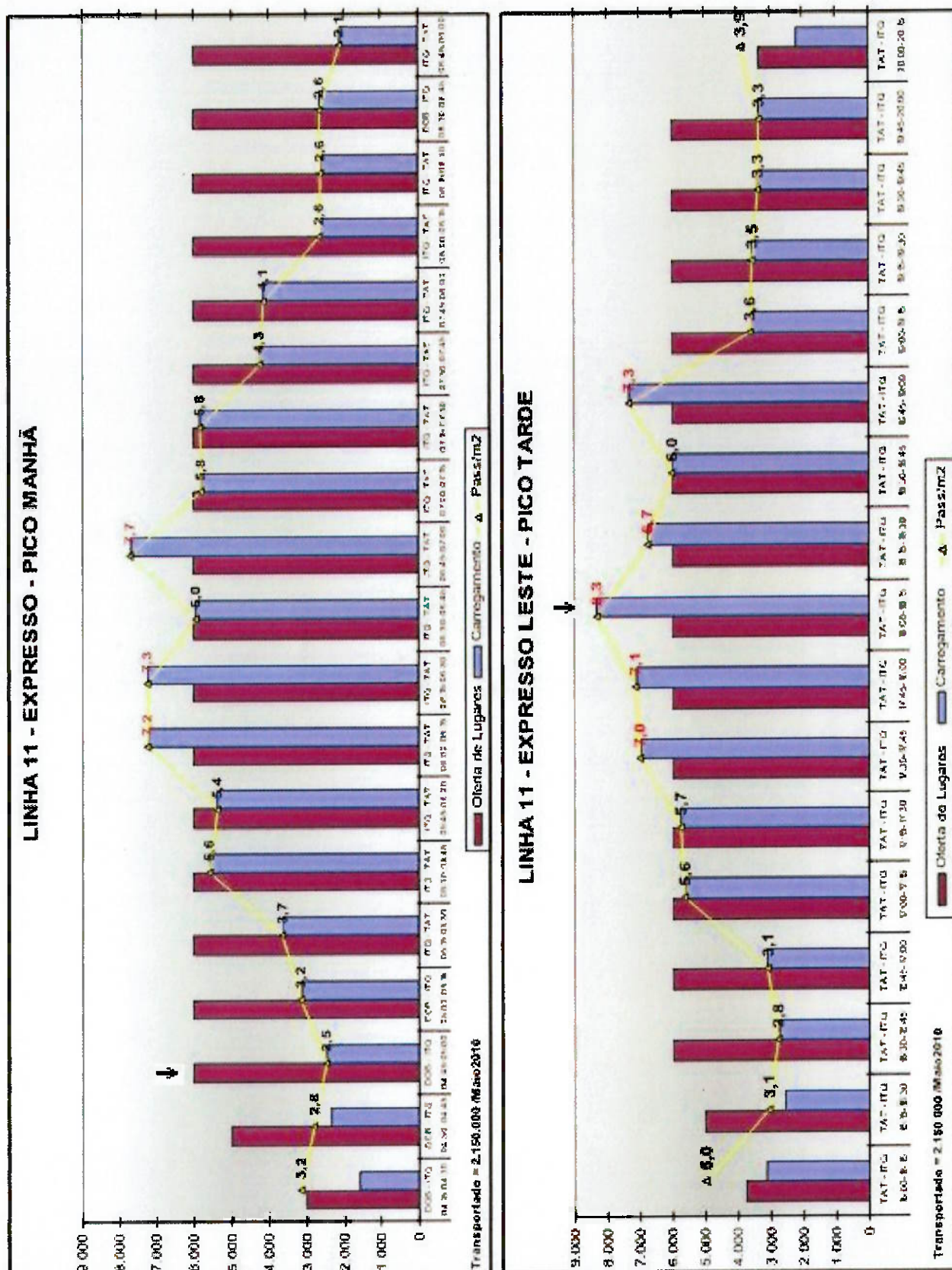


Gráfico 5.1-Oferta e demanda atual da linha 11 [12]

Um outro exemplo é apresentado no gráfico 5.2, onde são apresentadas as características de entrada/saída das composições para a operação e oferta de lugares para a linha 11, no dia 17 de Maio de 2010.

Comparando-se com o gráfico típico de demanda x oferta do item 4.3, é possível constatar que se trata de um sistema de sinalização tradicional de baixa flexibilidade operacional na entrada e saída dos trens e que existe uma região plana de baixa oferta (em função da baixa demanda) entre 9:30 e 16:15 típico dos sistemas ferroviários. Pode-se também, juntamente com o gráfico anterior, verificar que os trens são inseridos e retirados todos em um mesmo momento, proporcionando baixa flexibilidade deste sistema de sinalização e controle.

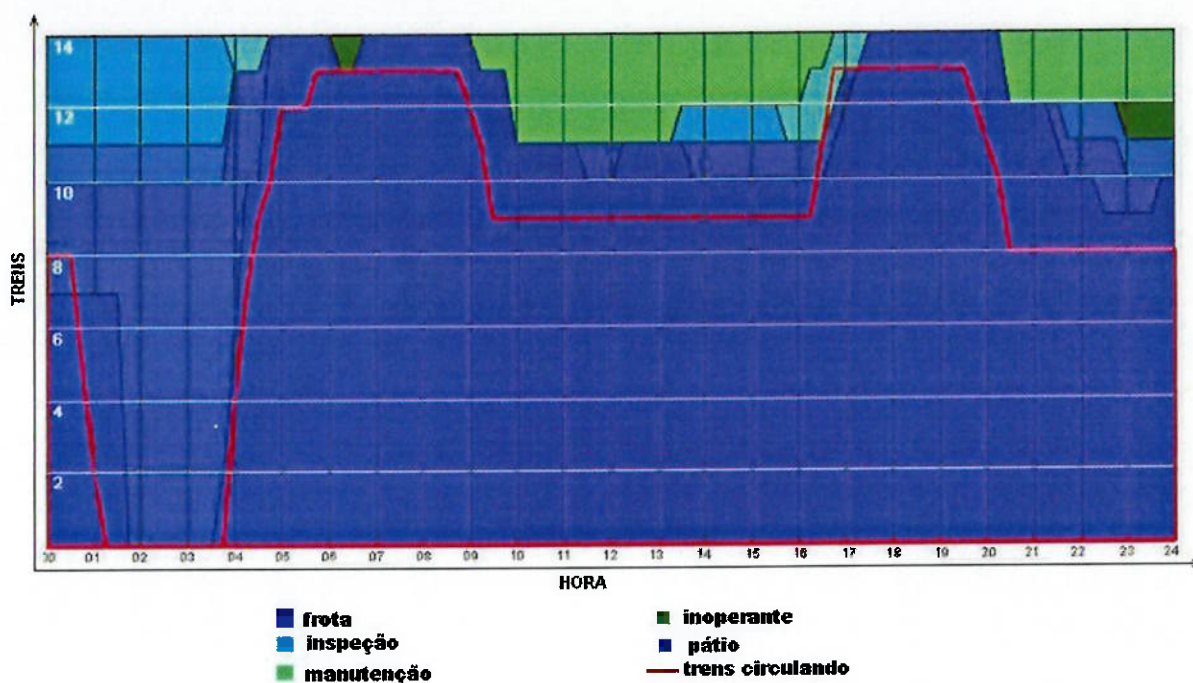


Gráfico 5.2-Flexibilidade de entrada e saída de trens na linha 11 de 17/05/2010 (Hora x Trens) [12]

5.3. Tabela comparativa de falhas do sistema de Bloco Fixo, comparado ao CBTC

5.3.1. Apresentação das falhas com interferência na operação

No gráfico 5.3 é mostrada a distribuição total das falhas, referente ao mês de março de 2010, sendo que 10% foram ocasionadas pelas falhas do sistema de sinalização na operação, ou seja, falhas diretamente relacionadas com o sistema de sinalização de Bloco Fixo[12].

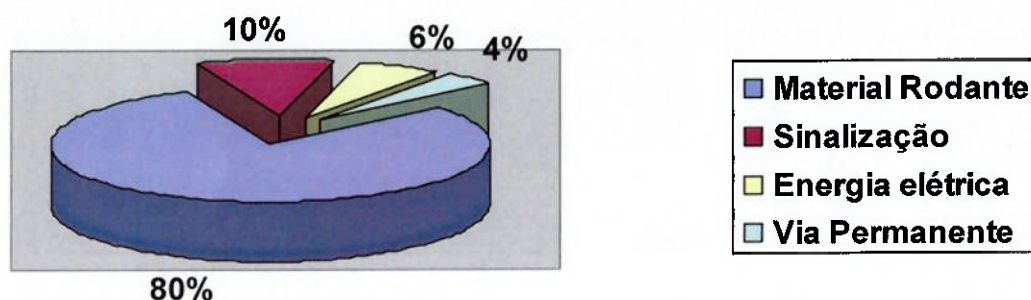


Gráfico 5.3 – Distribuição de falhas, linhas 08, 10 e 11 –março/2010

A programação de viagens das linhas 8, 10 e 11 no mês de março de 2010, era de 34.644 viagens/mês, mas devido as falhas que interferiram na circulação dos trens no referido mês, somente foram realizadas 33.322 viagens/mês. Dessa diferença de 1.322 viagens não realizadas, conforme referido no parágrafo anterior, 10 % foram ocasionadas pelo sistema de sinalização, aproximadamente 132 viagens suprimidas devido a falhas de sinalização.

5.3.2. Apresentação das falhas de sinalização com interferência na operação

Hoje, a CPTM possui um elevado nível de falhas de sinalização de Bloco Fixo. A tabela 5.1 e o gráfico 5.4 ilustram o número de falhas que causaram interferência na operação e sua distribuição no mês de março de 2010 [12].

Grupo de Sistema	Linha			Total
	08	10	11	
Comunicação de dados	04	17	13	34
Detecção de trens	28	06	24	58
Intertravamento	50	10	16	76
Sinaleiros	07	06	12	25

TOTAL

193

Tabela 5.1- Falhas com interferência na operação do mês de março de 2010

As falhas relativas aos itens da tabela 5.1 referem-se aos equipamentos observados na seção 2.2. Os dados da tabela podem ser visualizados também no gráfico 5.4

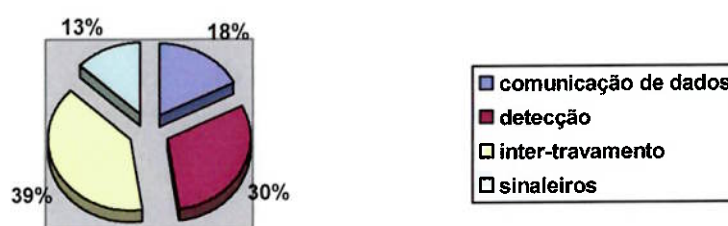


Gráfico 5.4- Falhas com interferência na operação no mês de março de 2010

As falhas de sinalização com interferência operacional são responsáveis por 10 % dos cancelamentos das viagens. Conforme exposto no item 5.3.1, aproximadamente

132 viagens não foram realizadas devido a este tipo de falha, em média 4 viagens por dia. Essa redução de viagens prejudicou 8.000 passageiros por dia, levando-se em conta que cada composição permite em média 2.000 passageiros.

É possível concluir que a redução das viagens leva ao aumento de *headway* (intervalo entre trens) e desconforto aos passageiros. Para a solução destas interferências, será apresentada no item 5.3.3 uma estimativa de falhas do sistema CBTC que, por meio de sua arquitetura, funcionamento, elevado nível de redundância e tecnologia de ponta, estabelecerá uma nova forma de interação entre falha de sinalização e operação.

5.3.3. Apresentação das falhas estimadas com interferência na operação considerando agora o sistema CBTC [13]

Para a elaboração da tabela 5.2 e gráfico 5.5, utilizando-se o sistema CBTC, foram estimados valores em função da tabela de falhas do Bloco Fixo de março de 2010 apresentadas no item 5.3.2.

Grupo de Sistema	Linha			Total
	08	10	11	
Comunicação de dados	01	05	04	10
Deteccção de trens	0	0	0	0
Intertravamento	25	05	08	38
Sinaleiros	0	0	0	0
TOTAL				48

Tabela 5.2- Estimativa futura de Falhas no sistema CBTC

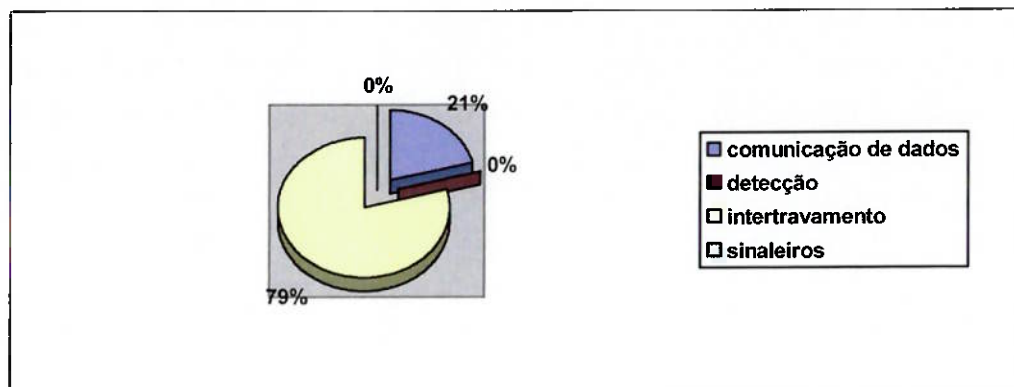


Gráfico 5.5- Estimativa futura de Falhas no sistema CBTC

5.3.4. Critérios para a quantificação das falhas no CBTC

Comunicação de dados: Com a implantação do sistema CBTC, os sinais de comando e velocidade dos trens, que são transmitidos pelo sistema de rádio frequência, e a comunicação com o CCO oferecem um maior nível de redundância,

robustez e confiabilidade, devendo portanto o novo sistema apresentar um número de falhas inferior ao do sistema de bloco fixo.

Tendo como base os dados observados (vide tabela 5.1) nas linhas 8-Diamante, 10-Turquesa e 11-Coral, verifica-se que a linha 8-Diamante, que já possui um sistema de comunicação dual, apresenta um número de falhas cerca de 70% inferior às das linhas 10-Turquesa e 11-Coral, que são equipados com sistema de bloco fixo sem dualidade no sistema de comunicação.

Portanto, considerando que o sistema CBTC apresenta níveis de redundância superiores a oferecida pela linha 8, e tendo em vista que não existe um histórico de falhas no sistema CBTC, adotou-se para esse sistema a redução de falhas apresentadas na linha 8-Diamante, ou seja 70%.

Deteção de trens: O CBTC não utilizará os tradicionais circuitos de via, eliminando portanto todas as falhas deste sistema.

A detecção tradicional dos trens não será mais utilizada; em seu lugar, a nova sinalização utilizará um sistema de localização realizada por tacômetros e aferidos por balizas ao longo da via férrea, possuindo maior precisão de localização.

Intertravamento:

Ao utilizar o CBTC, é previsto que haja um aumento na quantidade de eventos no sistema de gerenciamento, em face do seu maior nível de comunicação e aferição de dados, no entanto, isso não irá interferir na circulação dos trens.

Os equipamentos de intertravamento serão reduzidos em 50 % ao longo da via, possibilitando redução das interferências operacionais da mesma ordem de grandeza.

Sinaleiros:

Devido ao CBTC possuir automatismo, não será necessária a utilização dos sinaleiros; estes só serão utilizados durante um certo período, por trens não equipados com o sistema CBTC. Pode-se portanto desprezar as falhas com relação a esse item no sistema CBTC.

Com a estimativa de redução das 193 falhas totais que ocorreram no sistema de Bloco Fixo em março de 2010, para apenas 48 falhas utilizando o CBTC, existirá

uma redução de 75% na interferência da circulação dos trens, diminuindo as 132 viagens/mês não realizadas com o sistema atual de sinalização a apenas 33 viagens/mês não realizadas, em média, devido a falha de sinalização, ou seja, é previsto que apenas uma viagem seja cancelada com a utilização da nova sinalização.

6. CONCLUSÃO

A utilização de um sistema de sinalização do tipo CBTC oferece claras vantagens em comparação ao Bloco Fixo. Dentre outros exemplos, pode-se ter, com isso, maior tecnologia embarcada no trem e ao longo da via, que aumenta a qualidade e quantidade de informações operacionais, propicia índices de disponibilidade e confiabilidade elevados, mantendo-se as mesmas premissas de segurança e com *headway* inferior ao mínimo possível no Bloco Fixo.

Possibilitará à operação, um maior dinamismo no remanejamento dos trens, ou seja, flexibilidade na entrada e saída dos trens na via, conforme a necessidade.

Além do automatismo disponibilizado pelo CBTC, a programação da operação será realizada de forma mais avançada, sendo o novo sistema responsável pelos cálculos e dinamismo, tendo em vista a sua arquitetura que mantém alto nível de comunicação de dados operacionais.

Por exemplo, é possível verificar grandes desequilíbrios na curva de oferta versus demanda para a linha 11, utilizando sinalização tradicional, desequilíbrios que serão reduzidos com a utilização do CBTC e sistema de controle mais avançado, acelerando o processo de entrada e saída das composições, o que possibilitará reduzir o *headway* atual de 6 minutos em média para 3 minutos.

Ao se implantar o CBTC, as falhas com interferência na operação serão reduzidas, aumentando a confiabilidade e disponibilidade do sistema sem afetar a segurança.

É possível dizer que a implementação de um novo sistema de sinalização/controle proporcionará otimização na utilização da infraestrutura da CPTM e, com isso, redução dos custos a longo prazo, sejam eles na manutenção ou na operação, sendo um sistema altamente indicado para tráfego metroferroviário de alta capacidade.

Portanto, o CBTC deve proporcionar à CPTM ganhos significativos em termos de disponibilidade e confiabilidade após instalado.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Diretrizes para apresentação de dissertações e teses Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-2006
- [2] CPTM, Estudo de demanda de passageiros (2010)
- [3] Site CPTM; http://www.cptm.sp.gov.br/e_noticias/webnoticias/one_news.asp?IDNews=6554
- [4]Walter K. Sanuki et alli, - Sinalização ferroviária; Trabalho de pós-graduação em tecnologia metroferroviária USP - S.P. – entregue ao prof. Dr. Jorge Rady de Almeida Junior - Curso de Sinalização Metroferroviária - Maio 2003
- [5] Patrick M. Centolanzi-Communications Based Train Control An Overview Term Project/Presentation Universidade Politécnica Brooklyn, Nova Iorque
- [6] Apresentação Siemens, AEAMESP 2007.
- [7] IEEE, std 1474.1-2004.; IEEE Standard for communication based train control; 3 park avenue, New York – USA, 25 February 2005.
- [8] IEEE, std 1474.2 2004.; IEEE Standard for user interface requirements in communication based train control – CBTC-systems;3 park avenue, New York – USA, 2004.
- [9] SULLIVAN, T.; The IEEE 1473-I Communications protocol: Experience in rail transit; Transportation systems design, track 5 technical forums, Oakland, CA-USA
- [10] José Aloise e Rubens Borloni, tekniiks, semana da tecnologia metroferroviária-2004
- [11] CAMARGO JR., J.B.; Apostila de segurança e confiabilidade, Grupo de análise de segurança da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - São Paulo 2006.
- [12] Site CPTM; <http://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao>
- [13] palestras, reuniões técnicas.

8. ANEXOS

ANEXO A – Equipamentos e Sistemas de utilizados no Bloco Fixo (Bueno Silvio 2004 Sinalização Metroferroviária).

A1. SCTC E PCL/PCS

O sistema de sinalização é controlado a partir de Centros de Controle Operacional (CCO's), localizado em estações estratégicas. Este sistema, denominado Sistema de Controle de Tráfego Centralizado - SCTC, é composto de uma rede de microcomputadores tipo "workstation" nos sistemas mais modernos e engloba todos os equipamentos necessários ao controle e supervisão do tráfego de trens. Dispõe de recursos que permitem a automatização de operações, bem como para gerenciamento de atividades de manutenção dos sistemas de sinalização e controle.

Os equipamentos de interface Homem-Máquina fornecem aos controladores, os meios apropriados para permitir a execução das seguintes funções:

- requisição de comandos simples e memorizados;
- requisição de funções avançadas;
- tratamento de alarmes;
- emissão de relatórios operacionais;

Os equipamentos de interface Homem-Máquina permitem aos controladores, a visualização das seguintes indicações operacionais:

- posicionamento e prefixação das composições ferroviárias;
- Identificação e rastreamento automático dos trens;
- correspondência das máquinas de chave;
- estado operacional dos sinais a margem da via;
- estado operacional das funções avançadas e de controle;
- alarmes;

O sistema é preparado para permitir a operação totalmente automática, de acordo com programas pré-estabelecidos de movimentação de trens.

A arquitetura de hardware do SCTC proporciona elevada disponibilidade e autonomia dos diversos subsistemas que o compõem. As funções consideradas críticas, tais como Banco de Dados, Controle de Tráfego de Trens e Comunicação

são dualizadas e incorporam mecanismos de chaveamento automático em caso de falha.

O SCTC é responsável pelo controle e gerenciamento de tráfego, a partir de dados recebidos do campo através de Unidades Remotas (UR) ou de comandos gerados no Centro de Controle Operacional e enviados ao campo pelo STD Central. No Centro de Controle Operacional, os dados são processados por equipamentos informatizados e visualizados pelo Controlador.

O SCTC é composto dos seguintes subsistemas:

- Interface Homem Máquina (IHM), constituídas de Consoles de Operação, Console de Supervisão, Console de Manutenção e Engenharia e Painéis Sinópticos Retroprojetados.
- Servidor SCADA dualizado que agrega as funções de Banco de Dados e de Controle de Tráfego de Trens.
- Unidades de acionamento de Painéis Sinópticos Retroprojetados.
- Rede Local de comunicação padrão Ethernet.
- Subsistema de Transmissão de Dados (STD), composto de STD Central e Unidades Remotas.
- Subsistema de Alimentação Ininterrupta de “No-Break” e Banco de Baterias.

A interação entre Banco de Dados e Interface Homem Máquina é feita segundo a arquitetura Cliente/Servidor, sendo os equipamentos pertencentes à IHM os clientes de Bancos de Dados residente no Servidor.

Painéis de Controle Local/Setorial

Os Painéis de Controle Local/Setorial estão localizadas em estações principais das linhas B (Oeste), C (Sul) e Extensão Leste. São utilizadas para controlar o sistema de Sinalização a partir das estações no caso de falhas de comunicação entre estação e CCO ou durante uma manutenção preventiva.

Nos PCL/PCS são apresentadas as sinalizações de ocupação de circuitos de via, estado das máquinas de chave e rotas, sentidos de tráfego, alarmes, entre outras. Podem ser implementadas através de painéis mímicos ou através de microcomputadores com monitores coloridos, nos sistemas mais modernos.

A2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

O Sistema de Transmissão de Dados (STD), responsável pela comunicação, permite o controle remoto dos equipamentos de campo e a supervisão dos seus estados operacionais. Não existe tráfego de dados vitais neste equipamento.

O STD recebe do SCTC, as seguintes informações principais:

- Comando de Posição de Máquina de Chave;
- Comando de Requisição de Sinal;
- Comando de Chamada de Manutenção;
- Comando de Interface: Seleção de estação;

O STD envia ao SCTC as seguintes informações principais:

- Indicação de Posicionamento de Máquina de Chave: Reversa ou Normal;
- Indicação de Ocupação de circuito de via;
- Indicação de Sentido de Rota Alinhada;
- Indicação de Aspecto de Sinais: Fechamento ou Aberto;
- Alarmes e Diagnósticos;

O STD possibilita a transmissão e a recepção de informações entre uma Unidade Central (UC) e Unidades Remotas (UR's). A UC instalada no CCO é capaz de codificar e transmitir mensagens de comando, e de receber, decodificar e registrar mensagens de indicação.

As UR's, instaladas em locações de campo, são capazes de receber, decodificar e registrar mensagens de comando possibilitando o acionamento de circuitos elétricos que acionam equipamentos de sinalização, e de codificar e transmitir mensagens de indicação, quando acionados os circuitos de interface com os equipamentos de sinalização.

São empregados circuitos à base de microprocessadores para efetuar o processamento e gerenciamento de todas as mensagens trocadas entre o CCO e as UR's.

Os módulos de microprocessadores e modems da UC são duplicados, de forma a manter uma disponibilidade em tempo integral das funções do CCO, comutando-se automaticamente para o módulo reserva em casos de falha no principal.

A3. EQUIPAMENTOS DE SINALIZAÇÃO

RELÊS VITAIS

Os dispositivos utilizados em sistemas vitais devem ter características especiais, para poderem atender aos requisitos destes sistemas. Basicamente, uma falha em um componente do dispositivo deve levá-lo necessariamente a um estado mais restritivo (estado seguro).

Estes dispositivos foram sendo desenvolvidos no decorrer dos anos, principalmente pela indústria de sinalização ferroviária, para atenderem estas características especiais e que tem pelo menos um modo de falha, com probabilidade de ocorrer tão baixa que pode ser considerada zero. Os relês que atendem estas características são chamados Relês Vitais com as seguintes falhas possíveis: Bobina em curto, resistência de contato alta e fusão de contatos traseiros (back).

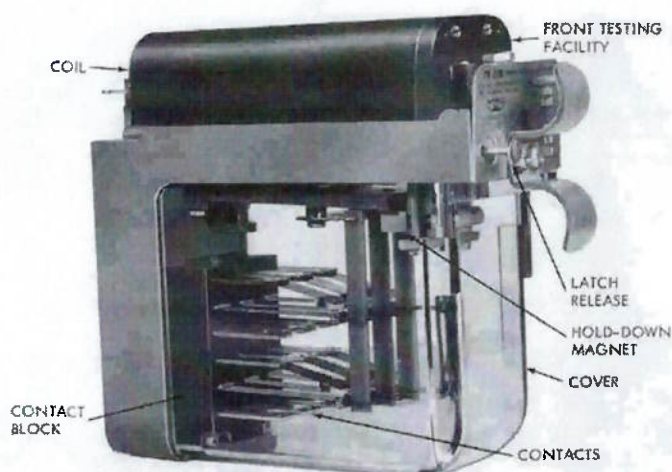
Para a verificação da integridade e da segurança destes relês, existem determinados valores elétricos, denominados características operacionais. Estes valores devem ser praticamente invariáveis com o passar do tempo, mesmo que o relê seja submetido a condições severas. Estes valores são:

- início de abertura ("drop away"): é a tensão em que os contatos frontais se abrem, quando a tensão aplicada na bobina for diminuída.
- início de fechamento ("pick-up"): é a tensão em que os contatos frontais se fecham, quando a tensão aplicada à bobina for aumentada a partir do zero;
- tensão de trabalho ("working"): é a tensão em que o pino de parada está encostado na peça polar e é a tensão nominal de operação do relê.

Os relês vitais podem ser divididos em duas categorias fundamentais: os relês CC e os relês CA.

Relés CC

Os relês CC, disponíveis comercialmente, podem ser divididos em: os relês de via, os relês de linha, os relês de temporização e os relês especiais:



FiguraA1-Relê Vital tipo Plug-In CC

Reles de via CC

Estes relês, que podem ser tanto neutros como polarizados, têm bobinas de baixa resistência (da ordem de 0,5 a 4 Ohms). Podem ser utilizados em combinações de dois relês, onde um relê repetidor, quando energizado, abre o circuito da bobina do relê da via, inserindo uma resistência no seu circuito. Assim, o valor da corrente desenergizada é alterado, sem afetar os valores de "pick-up" e de trabalho. O repetidor neste caso é de queda lenta.

Reles de linha CC

Estes relês são os utilizados normalmente na execução lógica de Intertravamentos. Podem ser do tipo neutro ou polarizado, tendo valores de resistência de bobina mais altos que os relês de via CC, na ordem de 200 a 2.000 ohms. São classificados em relês neutros, polarizados e de retenção magnética.

Os relês neutros são praticamente idênticos ao relê polarizado, não tendo no seu circuito magnético o ímã permanente. Deste modo, o relê pode operar com tensão aplicada em qualquer um dos dois sentidos. O relê de retenção magnética, opera em função de uma mudança na direção decorrente através de duas bobinas. A armadura permanece na última posição atingida, assim que a energia for retirada. Este tipo é utilizado em circuitos de controle acionamentos.

O relê polarizado é uma combinação de um relê neutro e de um relê de retenção magnética. A armadura neutra acionada em função da presença de energia. A armadura polar oscila da posição normal para a reversa pela reversão da polaridade da energia aplicada.

Reles de Temporização CC

Estes relês podem ter aplicações práticas em circuitos em que haja necessidade de atrasos, tais como no caso de cancelamento de rotas ou outros atrasos que elevam ter um tempo controlado e que não possam ser realizados por relês de ação retardada. Basicamente, existem três tipos de relês de temporização: os térmicos, os motorizados e os eletrônicos.

Os relês térmicos têm os seus contatos acionados, em função do efeito de um bi-metal que pode ser ajustado externamente.

Os relês de tempo operados a motor são relês em que os contatos frontais e traseiros são acionados em função do movimento de um motor. Com estes relês, podem ser conseguidas variações de 4 segundos e 3 minutos.

Os relês de tempo operados eletronicamente, são geralmente relês comuns (neutros ou polarizados) que acionam os seus contatos em função da contagem de um circuito eletrônico. As variações de tempo conseguidos com este tipo de relê vão de 3 segundos a 10 minutos.

Reles Especiais

Neste grupo estão incluídos relês do tipo "Flasher" (pisca-pisca), "Power Off", controle de sinais, controle de carga de bateria, controle de filamento de sinais, sobrecarga em máquina de chave e de códigos.

Rele CA do tipo Vane

Este tipo de relê executa a função de abrir e fechar contatos, sendo acionado exclusivamente por corrente alternada. Estes relês têm aplicação na detecção de falta de alimentação ("power off") e principalmente como relês de via.

O tipo de relê CA mais conhecido é o de duas bobinas, sendo uma local e a outra a de via. As bobinas são enroladas em núcleos laminados que têm nos seus entreferros um leque de alumínio apoiado em um eixo, de modo a permitir um movimento de rotação livre, porém, limitado no eixo vertical. Ele interage com o campo magnético criado e, devido à defasagem existente nas tensões aplicadas nas duas bobinas, sofre uma rotação permanente.

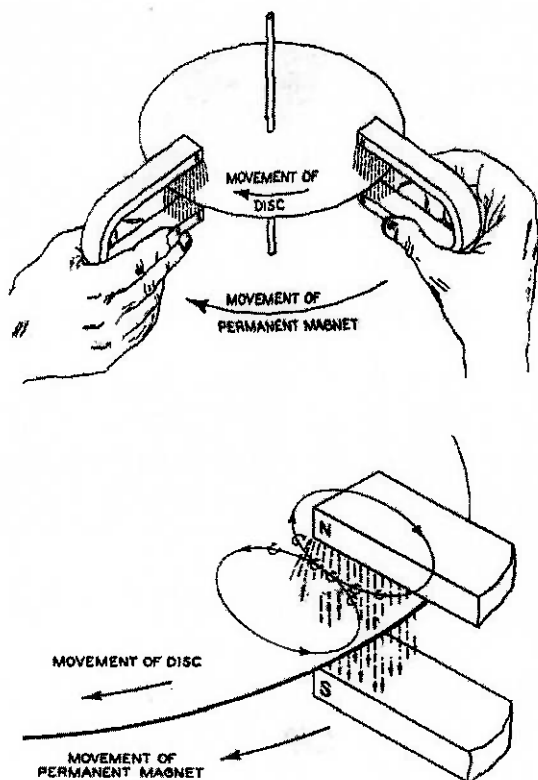


Figura A2-Interação do campo magnético

A fig. a seguir mostra um ciclo completo das correntes local e de via, defasadas de 90° .

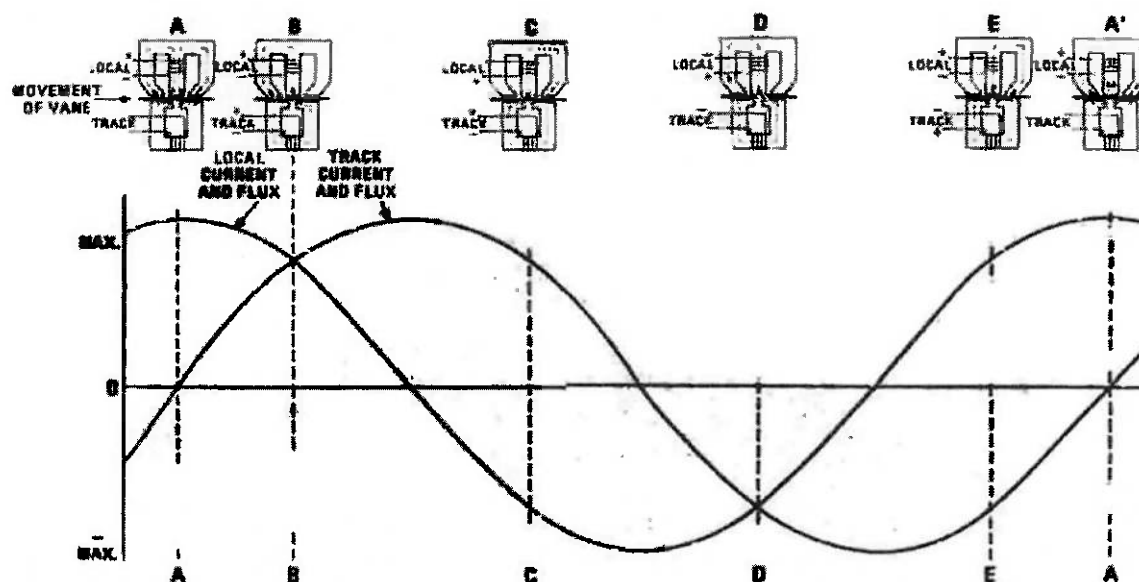


Figura A3-Ciclo completo da corrente local e de via

Pode-se notar pela figura que existem, nos instantes B, C, D e E uma similaridade com a figura anterior, em que o ímã permanente se movia, neste caso entretanto, ao invés de um ímã permanente se movendo, a corrente alternada é que causa o

movimento do fluxo magnético. Assim, a lâmina de alumínio (Vane) é impulsionada até encontrar um batente, fechando os contatos frontais e abrindo os traseiros.

Se uma das correntes deixar de circular, ter-se-á um estado estacionário (semelhante aos estados A e A' da figura), fazendo com que a lâmina caia, até encontrar o outro batente inferior, abrindo os contatos frontais e fechando os traseiros.

Para obtenção de máximo torque, o ângulo entre as correntes: local e via, deve ser de 90° . Como a corrente de via é conseguida através de dispositivos, tais como: bobinas de impedância, resistências, lastro, etc., é de se esperar que a defasagem de 90° não seja fácil de ser obtida. Para se corrigir este ângulo é normal se utilizar circuitos de correção para manter o ângulo em um valor mais próximo do ideal.

A4.1. CIRCUITOS DE VIA

O circuito de via é a base do sistema de sinalização de uma ferrovia. A partir da informação da presença ou ausência de uma composição ferroviária em um determinado trecho de via, são definidos e controlados todos os circuitos lógicos do Intertravamento vital (elétricos e eletrônicos), que garantem a segurança da operação de tráfego.

Nas linhas da CPTM são utilizados circuitos de via CA na frequência de 60 Hz ou 90 Hz, de bobina dupla, cujo elemento principal é o relê CA de via do tipo Vane.

Este tipo de circuito é utilizado em linhas eletrificadas para que a corrente contínua de tração não interfira com a alimentação de relê. A fonte de alimentação é um transformador.

Na figura a seguir, é mostrado um circuito de via na sua forma mais simplificada. Os trilhos são divididos em seções adjacentes e independentes por meio de juntas isolantes. Um dos lados desta seção está conectada a uma fonte de alimentação e o outro está ligado ao relê de via.

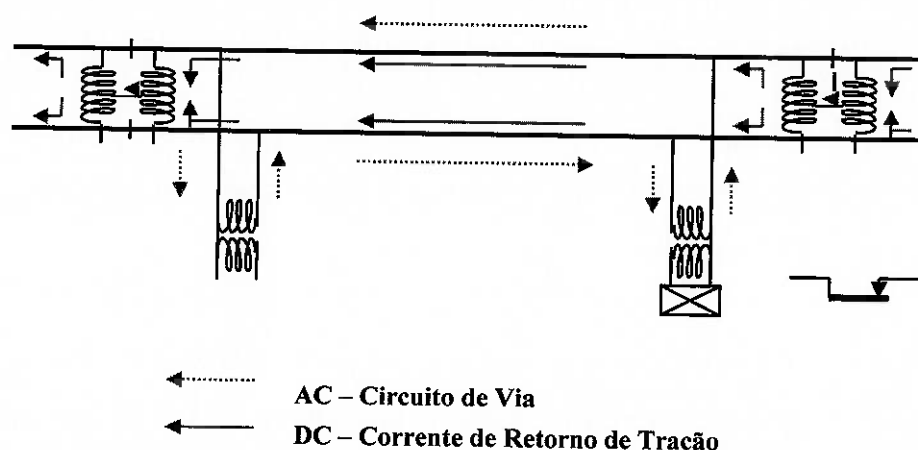


Figura A4- Circuito de Via simplificado

Quando o circuito está desocupado (sem trem no circuito) a corrente da fonte de alimentação circula para os trilhos, percorrendo o caminho indicado e conseqüentemente alimentado o relê de via, fazendo com que seus superiores fiquem fechados.

Quando o trem ocupa o circuito, a corrente de fonte não circula pelo relê, por existir um caminho mais fácil, através das rodas e eixos do trem, desoperando-o .

No circuito real um resistor é colocado em serie com a fonte de alimentação, com a função de limitar a corrente, no caso de ocupação, a valores razoáveis, protegendo a fonte de alimentação.

Circuito de via de um trilho

Neste tipo de circuito um dos trilhos é usado para o retorno da corrente contínua, ficando o outro apenas para os circuitos de via.

No caso de um bondeamento precário, se forçará um aumento do retorno através do relê e da fonte. Por esta razão estes circuitos limitados no comprimento (no máximo 300 m) e instalados apenas em pátios, onde existem vários trilhos de retorno.

Devido à possibilidade de aumento da corrente de retorno pelo relê, usa-se uma impedância de balanceamento, entre a via e o transformador do relê. A impedância de balanceamento é um dispositivo constituído por duas seções de mesma resistência ôhmica, porém com uma das seções enrolada em núcleo magnético, obtendo assim alta impedância à corrente alternada.

Qualquer corrente contínua que esteja circulando pelo trilho, ao atingir a impedância de balanceamento divide-se em duas partes iguais que circulam cada uma por metade do enrolamento do transformador, fazendo com que seu efeito seja anulado.

A corrente alternada de alimentação do relê passa somente pela seção não enrolada, circulando apenas por um dos enrolamentos do transformador, operando o relê.

Circuito de via dois trilhos

Neste tipo de circuito de via ambos os trilhos são isolados e, portanto, devemos fornecer um caminho fácil de retornar para corrente contínua de tração e impedir a corrente alternada de circular entre circuitos de via vizinhos. Isto é conseguido utilizando-se uma bobina de impedância, que nada mais é do que uma alta impedância a corrente alternada e uma baixa resistência a corrente contínua.

No Apêndice I apresentamos situações nas quais deve-se tomar cuidados em relação ao funcionamento indevido dos circuitos de via baseado em relês CA. Observamos que já existem circuitos de via em estado sólido e a substituição dos relês eletromecânicos por estes, seria recomendável por permitir uma maior seletividade dos sinais de controle e, portanto, maior segurança operacional.

MÁQUINA DE CHAVE E TRAVADOR

A Máquina de chave é um equipamento de sinalização destinado a movimentação dos aparelhos de mudança de via (AMV) necessários para a execução de manobras e mudanças de linhas.

Uma máquina de chave é dotada de um motor elétrico que pode ser alimentada em corrente contínua ou alternada. Todas as máquinas de chave têm a possibilidade de serem operadas manualmente através de um manivela.

O tempo total de operação, isto é, para movimentar as pontas de agulha da posição normal para reverso ou vice-versa é de cerca de 4 segundos.

A máquina pode possuir também uma caixa de comando interna, que comanda as operações do motor. No interior dessa caixa existem: sensores de sobrecarga e acionadores. Esses acionadores podem ser constituídos por contadores ou relês, geralmente intertravados elétrica e mecanicamente. Existem máquinas de chave que não dispõem de caixa de comando e, portanto, devem ser controladas por circuitos externos.

A máquina possui uma caixa de embreagem com um conjunto de discos de fricção, os quais atuarão sempre que houver um bloqueio da operação da máquina após o seu início. Esta embreagem patinará, até que a corrente drenada pelo motor em

sobrecarga, atinja o valor de operação do sensor de sobrecarga. São também utilizados relês temporizadores no lugar dos sensores de sobrecarga.

As máquinas possuem ainda um travamento mecânico executado internamente por meio de uma barra, chamada barra de travamento, com ressaltos e rebaixos. Este travamento é primordial para impedir que as pontas de agulha possam ser movimentadas durante a passagem do trem.

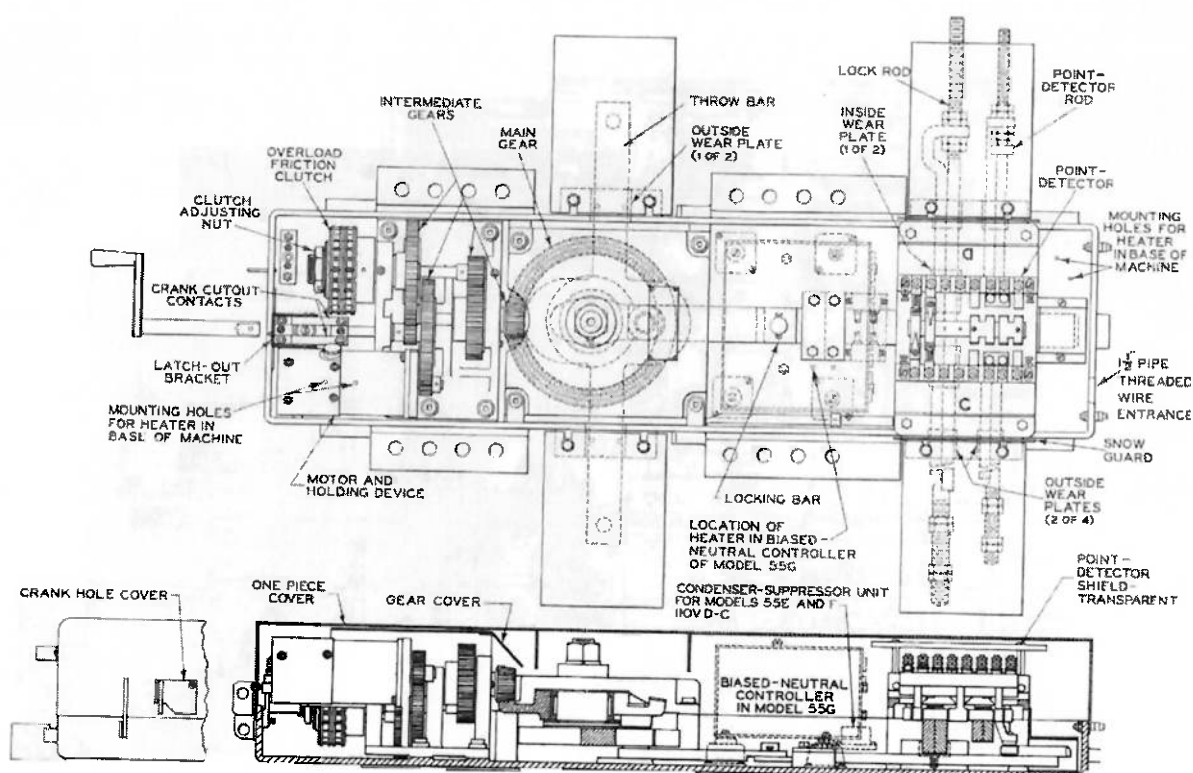


Figura A5-Visão interna da máquina de chave

Na figura a seguir apresenta-se a operação da barra de acionamento de uma máquina de chave padrão UIC.

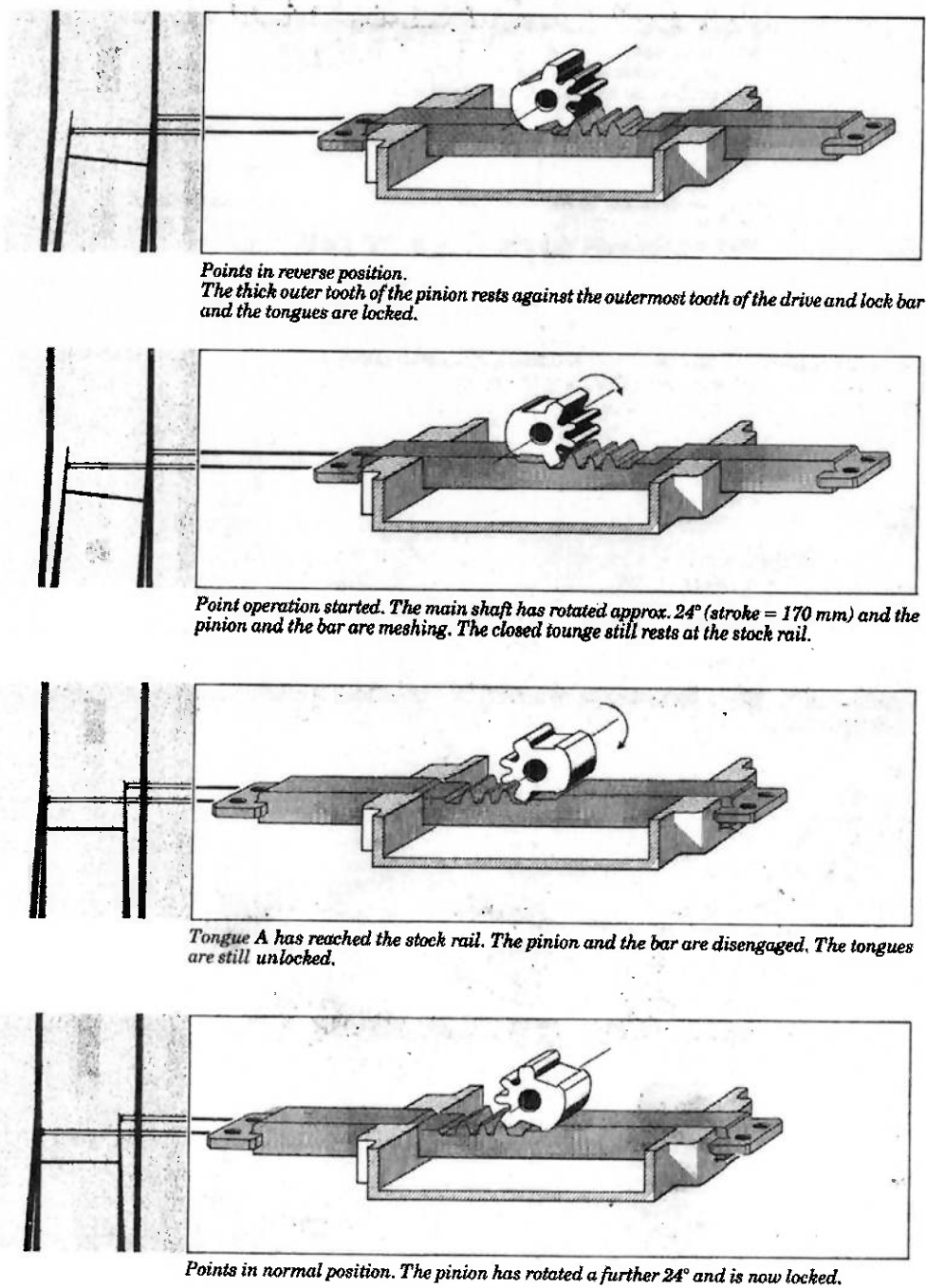


Figura A6- Operação da barra de acionamento

Travador

O travador é um dispositivo mecânico utilizado para a movimentação de AMVs de baixa demanda, tais como: entrada de pátios ou desvios industriais. É dotado de contatos elétricos que são inseridos nos circuitos do intertravamento para permitir o bloqueio de um alinhamento de uma rota, caso ocorra uma operação irregular ou uma falha neste dispositivo ou do AMV que esteja protegendo.

A operação correta do travador depende da obediência de procedimentos especiais, já que a sua operação é essencialmente manual. Todavia, a liberação da movimentação é controlada pelo intertravamento bem como a supervisão do seu correto posicionamento. Na figura ao lado, pode-se notar a existência de um pino que impede a movimentação da barra de acionamento das pontas de agulhas do AMV. Caso o intertravamento garanta as condições seguras de operação do travador, o pino poderá ser suspenso pelo giro da manivela, o que liberará a movimentação da barra.

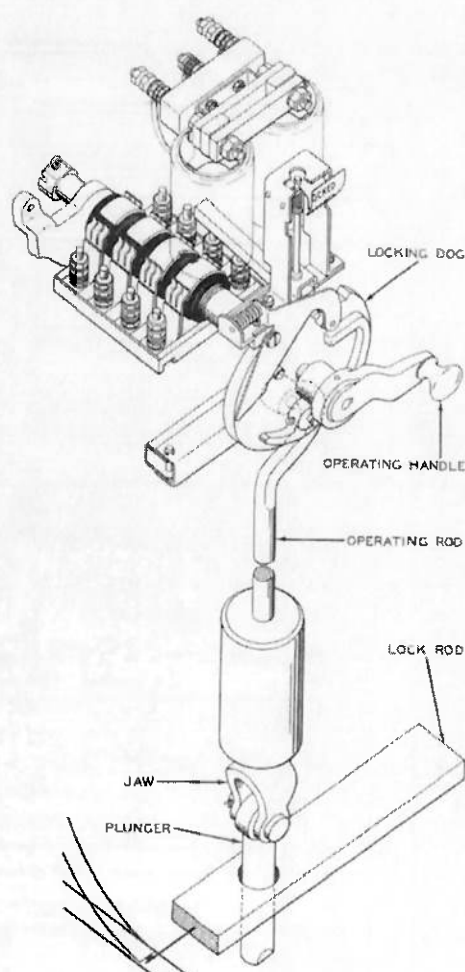


Figura A7-Travador

SINAIS

São chamados sinais os semáforos instalados à margem da via, ou mais especificamente, nas regiões de AMV's e servem para sinalizar o estado dos AMV's (prontos ou não para receber o trem) aos trens em Operação Normal e Manual. Estes sinais também podem ser utilizados para divisão de blocos de segurança ou distanciamento entre trens.

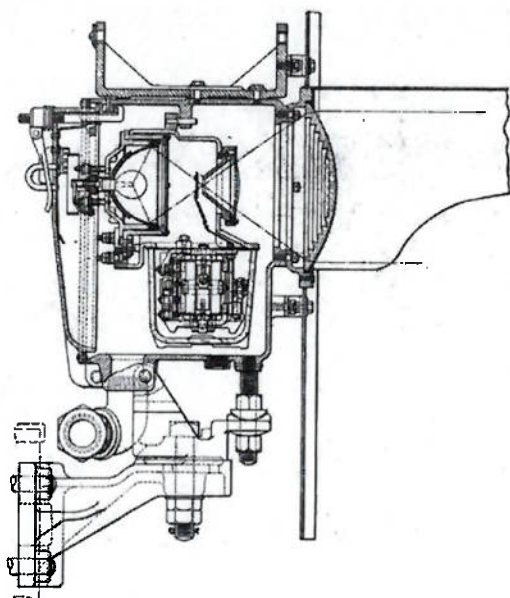
A aparência dos Sinais é idêntica às do semáforo de trânsito, entretanto, funcionalmente são completamente diferentes. A principal diferença está no conjunto óptico muito complexo. Enquanto nos semáforos o que se deseja é ter uma focalização a mais aberta possível, os sinais exigem uma localização bastante estreita, da ordem de 15 a 30°. As lâmpadas dos sinais também são diferentes das lâmpadas dos semáforos. Nos sinais ferroviários, as lâmpadas têm dois filamentos, o que não é requisito para a lâmpada dos semáforos.

Os sinais mais atuais são simples. Consiste de um compartimento onde são instalados dois conjuntos ópticos independentes com uma única lâmpada cada. Os aspectos dos novos sinais são limitados às cores vermelha e amarela.

Os sinais instalados nas linhas mais antigas têm um funcionamento completamente diferente dos sinais atuais. Consiste de um compartimento onde é instalado um conjunto óptico com uma única lâmpada, que está conectado a um relê especial denominado "Search-light". O mecanismo tem um movimento rotativo que move um leque contendo os três discos coloridos. A polaridade do circuito de controle determina qual das cores será posicionada no foco luminoso: amarelo ou verde. Quando o circuito estiver desenergizado o disco vermelho será posicionado, por gravidade, no foco luminoso. Assim, no caso de falta de energia, o aspecto mais restritivo, será mostrado.



Figura A8-sinaleiro
típico



Mecanismo interno de um sinal
Sinal unifocal com "Search-light" (ao
lado)

Figura A8-Mecanismo interno de um sinaleiro

'PASSAGEM EM NÍVEL

Nos locais de cruzamento rodo-ferroviário, são instalados equipamentos de sinalização acústica, visual e barreiras para sinalizar a chegada do trem e paralisar o tráfego rodoviário.

Este equipamento pode ser manual, automático e automático com comando manual superposto.

A operação manual é feita por um guarda ou por uma cabine de pátio. A operação automática é efetuada pelo próprio trem que, ocupando o circuito de via de aproximação, aciona os equipamentos. Na operação automática com comando manual superposto o próprio trem aciona os equipamentos que podem ser comandados, sob certas condições, manualmente.

A operação segue a seguinte seqüência: as campainhas e as lanternas começaram a funcionar antes da descida das barreiras. As lanternas funcionam todo o tempo. As barreiras devem alcançar a posição horizontal antes da chegada qualquer trem. Isto se consegue, com a colaboração de um comprimento adequado do circuito chamado "Start". Logo após ter passado a cauda do trem, pela passagem de nível, os equipamentos voltam ao normal.

Os circuitos são montados de maneira que, qualquer falha, as lanternas não deixem de funcionar e a barreira seja derrubada por ação gravitacional. A alimentação é feita com circuitos de corrente alternada e no caso de falta de energia, a operação deverá ser garantida com o emprego de baterias.

ANEXO B –Radio Digital com espalhamento espectral (Spread Spectrum)

(Fernandes, Silvio (1997)Utilização metroviária de tecnologia de rádiodigital com espalhamento espectral (spread spectrum).

O Spread Spectrum (Espalhamento Espectral) é uma técnica de codificação para transmissão digital de sinais. Ela foi originalmente desenvolvida pelos militares durante a segunda guerra mundial, com o objetivo de transformar as informações a serem transmitidas num sinal parecido com o ruído radioelétrico, evitando assim a monitoração pelas forças inimigas.

A técnica do espalhamento espectral (Spread Spectrum) consiste em codificar e modificar o sinal de informação executando seu espalhamento no espectro de frequências. O sinal espalhado ocupa uma banda maior que a informação original, porém possui baixa densidade de potência e, portanto, apresenta uma baixa relação sinal ruído.

As faixas de frequências utilizadas pelo Spread Spectrum são livres, ou seja, não necessitam autorização de órgãos regulamentadores (ANATEL). As faixas de frequências são denominadas internacionalmente de ISM (Instrumentation, Scientific and Medical) e estão definidas nas faixas de 900 MHz, 2,4 GHz e 5,8 GHz.

A seguir estão colocadas algumas características do Spread Spectrum:

- a) A largura de banda do sinal transmitido é muito maior do que a largura de banda da informação propriamente dita.
- b) A sequência de pseudocódigos é que determina o sinal a ser recebido.
- c) A densidade de potência em função do espalhamento do sinal é muito menor, não ultrapassando 1 Watt.

d) Os tipos mais comuns de espalhamento do Spread Spectrum estão a seguir:

B1) DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) – Sistema de Seqüenciamento Direto Nessa técnica, o sinal com a informação é multiplicado por um sinal codificador com características pseudo-randômicas, conhecido como pseudo-ruído, com uma frequência muito maior que a taxa do sinal de informação. Ele é usado para modular a portadora de modo a expandir a largura da banda do sinal de rádio frequência transmitido. No receptor o sinal de informação é recuperado através de um processo

complementar usando um gerador de código local similar e sincronizado com o código gerado na transmissão.

B2) FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) – Salto em frequência

A frequência da portadora do sinal transmitido salta de um canal para outro numa sequência chamada de pseudo-aleatória. O receptor por sua vez deve estar sincronizado com o transmissor, ou seja, deve saber previamente a sequência de canais onde o transmissor vai saltar para poder sintonizar estes canais e receber os pacotes transmitidos. A tabela a seguir mostra as vantagens e desvantagens do espalhamento do tipo FHSS.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Probabilidade pequena de utilização da mesma sequência de canais por mais de um usuário	Ocupação maior do espectro em razão da utilização de diversos canais ao longo da banda
canais utilizados não precisam ser sequências	Circuito gerador de frequências possui grande complexidade
Maior imunidade a interferências	Sincronismo entre a transmissão e a recepção é mais crítico
Equipamentos de menor custo	Baixa capacidade de transmissão, da ordem de 2 Mbit/s

Tabela B1-Vantagens e desvantagens do FHSS

B3) Sistema Híbrido- É a combinação dos dois processos anteriores.

ANEXO C – Definição de Balizas e Tacômetros

(CBTC – An analysis of market growth and technology development – Trade Press Publishing Corporation)

Baliza

Uma baliza é um pequeno dispositivo de rádio frequência feito para transmitir dados a pequenas distâncias. Em aplicações de controle de trem, as balizas são instaladas no leito da via, geralmente entre os trilhos ou em um lado do trilho. Uma antena no trem possibilita o fluxo de dados entre a baliza e o sistema a bordo do trem assim que este passa sobre ela. Como para cada baliza está associada uma única posição na via, se o sistema a bordo reconhece sobre qual baliza está passando, é possível saber qual a localização do trem na via. Balizas utilizadas com o CBTC são normalmente dispositivos passivos, ou seja, não possuem alimentação elétrica permanecendo inativas até que um trem passe sobre elas, então um sinal vindo da antena do trem produz energia suficiente para transmitir e receber dados do trem. Para um trem trafegando em velocidades acima de 500 km/h (311 mph), o sistema pode transmitir uma mensagem de até 1.023 bits de dados assim que o trem passar sobre uma baliza. As figuras a seguir mostram a aparência física de uma baliza e a sua instalação na via.

Uma vantagem das balizas é que elas podem transmitir, além dos dados utilizados no posicionamento, outros dados entre o trem e a via. A desvantagem é que necessitam serem instaladas na via, sendo vulneráveis aos mesmos perigos que os outros elementos da via, como, corrosão, vandalismo, danos ou deslocamentos provocados pela manutenção da via.

As balizas podem ser utilizadas em conjunto com sistemas do tipo GPS, visando auxiliar na localização dos trens em túneis, pois a informação do satélite não é mais recebida.

No sistema CBTC europeu (ETCS) as balizas são ativas e alimentadas por baterias, suas principais funções são: restrição de velocidade, controle de parada do trem na estação e identificação da posição do trem.

Tacômetros

Tacômetros são dispositivos que, instalados junto a eixos, medem sua rotação. Apresentam baixa precisão principalmente em baixas rotações, não sendo possível medir velocidades inferiores a 3,6 Km/h. O tacômetro tradicional é composto de bobinas eletromagnéticas que detectam pulsos de uma roda dentada. Em função de sua baixa precisão, o trem pode receber a instalação de vários tacômetros, visando melhorar a segurança do sistema. A evolução desses dispositivos caminhou para o tacômetro ótico que instalado em uma roda livre, ausente dos esforços de tração e de frenagem, oferece uma correção automática do diâmetro de acordo com o desgaste da roda garantindo com isso uma maior precisão. Sua operação é em corrente contínua podendo medir velocidades baixas, sentido de movimento e posição do trem. O tacômetro Doppler tem seu princípio de funcionamento baseado na emissão e na captação de ondas sonoras, mede velocidades tomando como referência o trilho, alguns sistemas utilizam o topo do boleto do trilho, pode apresentar erro em vias elevadas e na presença de neve nos trilhos, necessita de processamento inteligente do sinal.

ANEXO D - Comunicação no sistema CBTC

(INATEL-Instituto Nacional de Telecomunicações)

No sistema CBTC a comunicação entre o trem e a via é feita através de rádio, é do tipo bidirecional simultânea (full-duplex), ou seja, o sinal é transmitido e recebido ao mesmo tempo.

Nesta comunicação é utilizada a técnica de múltiplo acesso que permite o compartilhamento do meio de transmissão ou dos recursos de comunicação entre diversos usuários. As Técnicas de Múltiplo Acesso estão classificadas em:

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Múltiplo acesso por divisão de frequência onde o canal é dividido em subfaixas de frequências e cada usuário ocupa uma determinada subfaixa.

TDMA (Time Division Multiple Access)

Múltiplo acesso por divisão de tempo onde o tempo de transmissão é dividido e cada usuário pode transmitir e receber no tempo a ele reservado.

CDMA (Code Division Multiple Access)

Múltiplo acesso por divisão em código – utiliza o espalhamento espectral, com adequada escolha da sequência pseudo-aleatória de cada usuário, de tal maneira que todos possam compartilhar um mesmo canal de comunicação, ao mesmo tempo e na mesma faixa de frequências.

ANEXO E - Princípios de Segurança para Trens (FAIL SAFE) (Sanuki Walter 2003)

– Sinalização Ferroviária

É a probabilidade de um sistema desempenhar suas funções corretamente ou descontinuar suas funções de uma forma que não interrompa a operação de outros sistemas de segurança nem comprometa a segurança de pessoas. A segurança é uma média da capacidade do sistema ser "Fail-Safe".

Se o sistema não opera corretamente, espera-se que ele falhe, pelo menos, de uma maneira segura.

Fail Safe

O Sistema de Sinalização é concebido, usando como premissa básica da obediência ao princípio de Falha Segura em todos os equipamentos nos quais existem métodos, princípios e processos de funcionamento que atuam diretamente nas condições de segurança do sistema, seja em módulos de "Hardware", "Software" ou ainda em combinação de ambos.

Dentro da arquitetura funcional do Sistema de Sinalização, as funções de segurança são atribuições dos módulos que desempenham funções de Proteção Automática do Trem - ATP, através de seus equipamentos distribuídos nas Salas Técnicas das estações, ao longo da via e a bordo dos trens.

O princípio de operação de Falha Segura tem por objetivo evitar que na operação do sistema possa ocorrer a possibilidade de riscos potenciais à vida dos passageiros, aos técnicos de operação e manutenção bem como danos aos equipamentos e ao trem.

Uma falha humana ou de equipamentos, deverá redundar na imposição de uma condição restritiva, ou seja, deverá acarretar na parada ou redução de velocidade de um trem, ou impedir a movimentação de AMV's, salvo em caso de sabotagem, vandalismo ou uso impróprio através de ações sobre as quais o sistema de Sinalização não tem controle.

Os equipamentos, componentes, circuitos elétricos e eletrônicos que são projetados em estrita obediência ao conceito de Falha-Segura, devem subordinar-se ao disposto a seguir:

- a) Deve basear-se nos princípios de circuito fechado, isto é, não deverá ser possível à ocorrência de condição de insegurança no sistema como resultado de condutores rompidos, defeito em componente ou grupo de componentes ou equipamentos que não operem quando energizados;
- b) Qualquer falha autodetectável ou não, nos equipamentos ou em componentes do respectivo circuito, não deverá causar condição de insegurança quando essa falha ocorrer simultaneamente ou combinada com a ocorrência de outras falhas;
- c) Qualquer defeito autodetectável em equipamento ou componentes do respectivo circuito deverá causar a seleção de um perfil de velocidade inferior ou mais restritivo que o existente quando da ocorrência da falha ou deverá causar o seccionamento da condição que determina a parada total do trem;
- d) Qualquer quantidade de falhas simultâneas em equipamentos distintos, atribuídas a uma causa ou causas relacionadas entre si, não deverá causar condição de insegurança;

O projeto de circuitos que envolvam funções vitais deverá considerar a possibilidade de ocorrência e estabelecer proteção para os seguintes tipos de falhas:

- a) Dispositivos de dois terminais: aberto, em curto, parcialmente aberto e parcialmente em curto;
- b) Dispositivo com mais de um terminal: qualquer combinação de abertura ou curto total ou parcial entre os seus terminais;
- c) Efeitos de variação de parâmetros elétricos;
- d) Efeitos de interferência eletromagnética ou elétrica;
- e) Efeitos de vibração e choques mecânicos;

- f) Instabilidade de amplificadores, receptores, transmissores, osciladores, circuitos de comutação e fontes de energia;
- g) Sinais: níveis anormais, desvios de frequência nominais, retardos e formas de onda anormais, ausência ou redução do nível do sinal ou qualquer combinação dos itens acima.
- h) Deterioração de contatos, conectores, terminais, soldas de conexão, circuitos impressos, componentes eletro-eletrônicos e dispositivos mecânicos.

Mesmo que uma falha, por mais simples que seja, não afete a segurança de tráfego e, portanto, não acarrete consequências restritivas à operação, deverá ser considerada em combinações com todas as outras falhas possíveis.

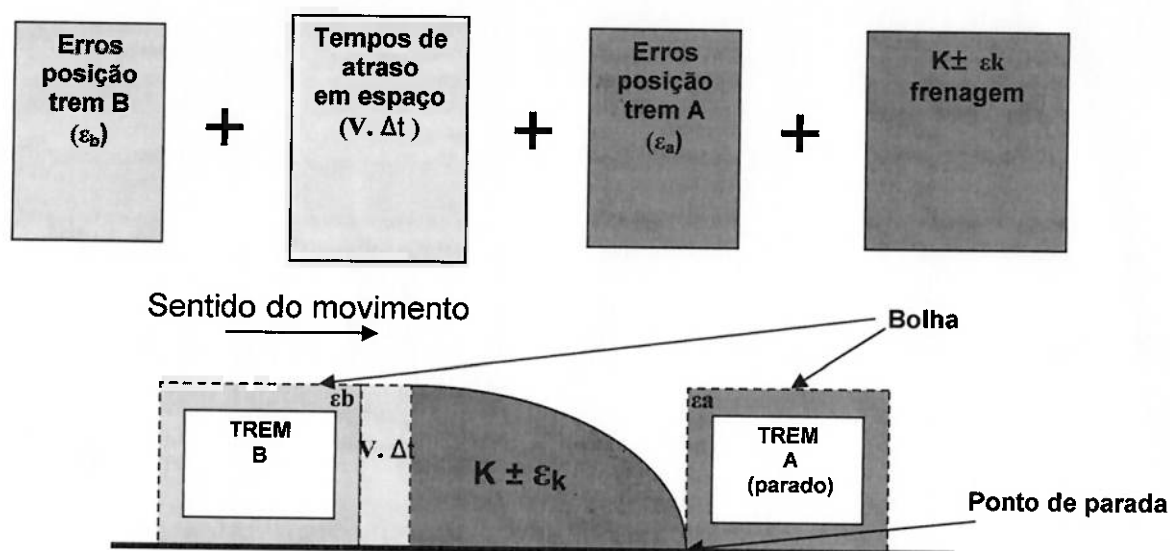
Não deverá haver a possibilidade de prevalecer uma condição não restritiva em presença de qualquer uma das falhas acima apontadas ou quaisquer outros fatores que comprometam a integridade física e dos equipamentos móveis e fixos.

O projeto dos circuitos vitais e as características construtivas dos equipamentos que desempenham funções vitais não deverão subordinar a segurança à execução de operações de manutenção preventiva, isto é: a segurança não deverá ser afetada quando não forem executadas as tarefas de manutenção preventiva recomendadas pelo projetista ou pelo fornecedor do Sistema. (walter)

ANEXO F-Segurança no cálculo da distância de Balizas ou precisão dos tacômetros(Aloise José, Fojo Gilberto, Borloni Rubens 2004) – Curso de Tecnologia Metroferroviária

Na figura abaixo é possível verificar a influência da precisão no cálculo da frenagem do trem, caso tenhamos uma precisão menor às distâncias percorridas antes da frenagem serão menores.

Além disso, com a falta de precisão a confiabilidade será menor e por tanto as restrições operacionais serão maiores.

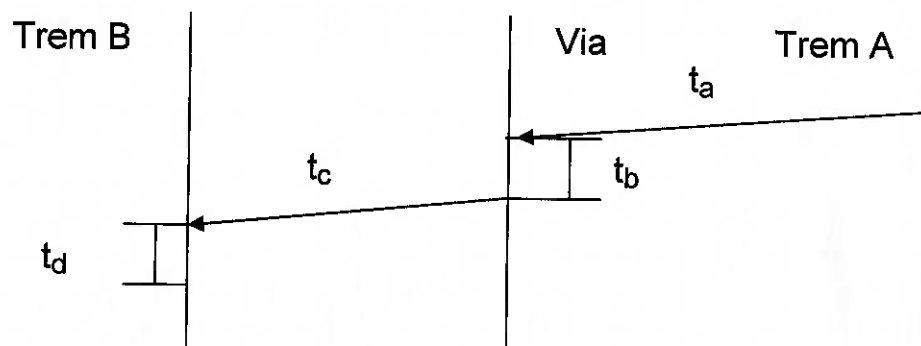


Distância entre os trens B e A $d_{BA} = \epsilon_b + (V \cdot \Delta t) + (K \pm \epsilon_k) + \epsilon_a$

Figura F1 -Cálculo do ponto de parada do trem

Δt é a soma dos tempos de atraso na comunicação e no processamento

$K \pm \epsilon_k$ é a curva de frenagem representando o espaço necessário à frenagem do trem



t_a = tempo de comunicação do trem A até a via

t_b = tempo de processamento do sinal pela via

t_c = tempo de comunicação da via ao trem B

t_d = tempo de processamento do sinal pelo trem B

Δt = tempo total do atraso de comunicação e processamento

$$\Delta t = t_a + t_b + t_c + t_d$$

Figura F2-Tempos de processamento

Níveis de Risco

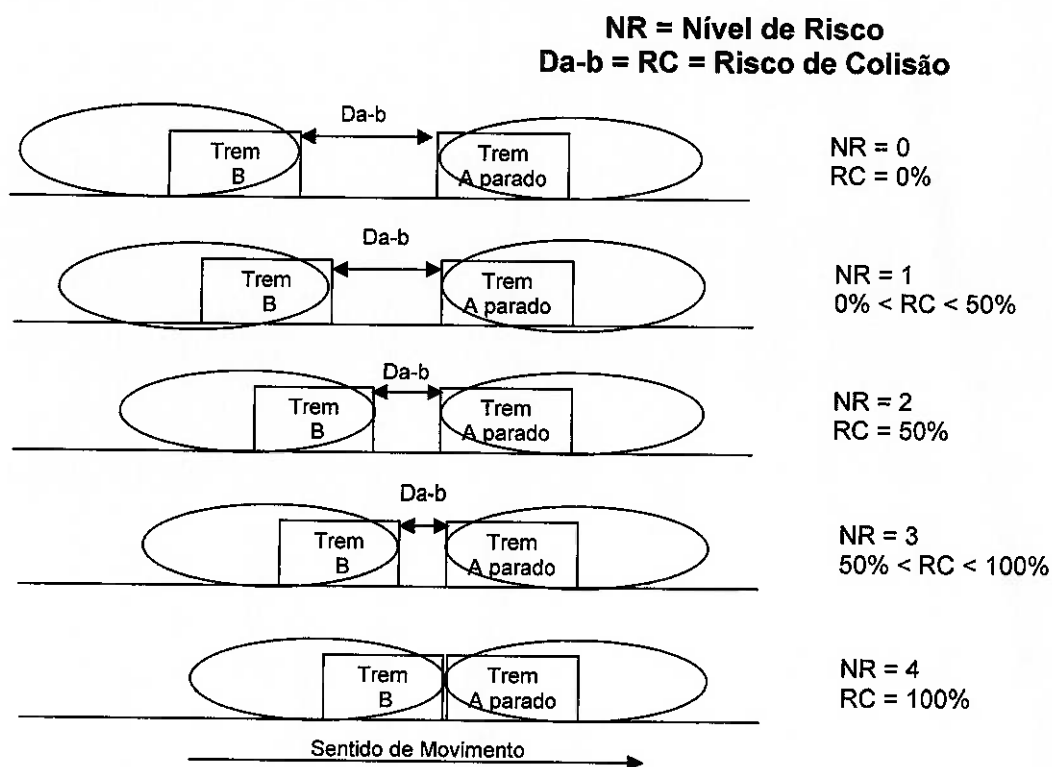


Figura F3-Níveis de Risco

Velocidade do trem B varia de 90 a 0 Km/h;

• Tempos de atrasos de comunicação e processamento Δt [s]

Pior caso	5,75 segundos
Médio caso	3,95 segundos
Melhor caso	1,14 segundos

• Desaceleração de referência fixada em 1,0 m/s²;

• Imprecisão da curva de frenagem (ϵ_k) fixada em ZERO metros;

• Distâncias entre balizas

- 500 em 500 metros
- 250 em 250 metros

• Erros máximos de medida dos sensores de posição de 1% e de 10% para ambos os trens[10];

Balizas reconhecidas pelos trens ;

		Precisão do sensor de posição 1%			Precisão do sensor de posição 10%		
Casos	Balizas reconhecidas pelo	Distância entre trens	Risco de colisão	Nível de Risco	Distância entre trens	Risco de colisão	Nível de Risco
1	500 e 1000	8,10 m	19 %	1	40 m	50%	3
2	500	3,10 m	69%	3	-10 m	100%	4
3	250, 500, 750 e 1000	3,05 m	39%	1	35 m	30%	1
4	250, 500 e 750	0,55 m	89%	3	10 m	80%	3

Tabela F1-Tabela de Risco

- Erros máximos de posição em função da distância entre balizas
 - definidas pelos NR anteriores
- Erros de posição em função do espaço real percorrido
 - o sistema neste modelo se configura absorvendo os erros
 - a imprecisão da curva de frenagem (ϵ_k) determina o NR

Abaixo estão as explicações dos itens do cálculo acima:

- *Erros da posição do trem B e A:* devido ao erro de localização. No CBTC teremos uma precisão próxima de um metro, enquanto no Bloco Fixo irá variar dependendo do tamanho do circuito de via. É criada então uma "Bolha" (distância à frente e atrás) em volta do trem para garantir a segurança;
- *Tempos de atraso em espaço:* é o cálculo realizado levando-se em conta o atraso na resposta da frenagem do trem e da chegada do comando;
- *Frenagem:* é a curva característica de cada trem, independente do sistema de sinalização[10].

