



AEAMESP



PROPOSTA DE TERMINAL DE MANOBRA PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO DE ALTO DESEMPENHO. UM PROJETO INTEGRADO

Rubens Tadeu de Azevedo



AEAMESP



“20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”.

“PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS”

**CATEGORIA: TECNOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E
MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.**

**TÍTULO: PROPOSTA DE TERMINAL DE MANOBRA PARA SISTEMAS DE
TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO DE ALTO DESEMPENHO. UM
PROJETO INTEGRADO.**



AEAMESP



1. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar, de maneira crítica, os métodos de desenvolvimento do projeto do sistema de transporte metro-ferroviário de passageiros de alta capacidade e alto desempenho, bem como desmistificar alguns conceitos e propor soluções para futuros projetos de linhas de transporte de passageiros de alto desempenho e grande capacidade.

O objetivo primordial de um projeto desses é o produto final, para fornecer transporte de alta qualidade e alto desempenho para a cidade.

Portanto, o grau de automação do sistema é diretamente proporcional à quantidade de pessoas a ser transportada, ou seja, a demanda nos horários de pico.

2. CONSTATANDO OS FATOS

A principal motivação da produção deste artigo foi a constatação de uma total dissociação entre as áreas de projeto de via permanente com a de sinalização e controle. Este fato pode ser revelado em uma simples análise na quantidade de projetos de transporte de massa que existem atualmente, o que nos parece é que o projeto da via permanente é feito sem nenhum compromisso com as definições do projeto básico como, nível de conforto, tempo de parada, tamanho, taxas de frenagem e propulsão do material rodante, intervalo mínimo da linha, e outras definições básicas que devem nortear todo o projeto, que se não forem tratadas convenientemente por cada um dos sistemas que compõem o produto final, fará com que não se obtenha o resultado operacional desejado.

Adotando o Metrô de São Paulo como um exemplo real de transporte de alta capacidade e alto desempenho.



AEAMESP



Hoje sabemos que as principais linhas não conseguem mais atender a demanda requerida pela cidade. Todos conhecem os motivos, mas a realidade é uma oferta menor que a demanda de viagens, o que acarreta na superlotação, aumento das falhas e insatisfação do usuário e diminuição dos índices de satisfação do sistema.

A solução é a construção de mais linhas e integrá-las, mas isso leva tempo, e disponibilidade de verbas. Então estamos sempre atrasados para resolver a questão demanda maior que a oferta, imposta pelas necessidades da cidade.

Atualmente, vivenciamos uma tentativa de melhorar a oferta, porém a iminente necessidade de resultados ao invés do projeto de forma clássica racional que demanda maior tempo remeteu a busca por soluções rápidas que nem sempre chegam aos resultados desejados, deixando arestas no resultado, que pela pressão na fase do projeto podem resultar em problemas crônicos no produto final.

A pressão da sociedade por maior oferta levou à não identificação do “CANTO DA SEREIA” do sistema de sinalização de bloco móvel, mostrado como solução, de que somente o sistema de sinalização poderia resolver a questão de aumento da oferta de lugares.

Acontece que o sistema de bloco móvel não é totalmente bloco móvel, por que nas regiões de AMV's ele se comporta da mesma forma do bloco fixo.

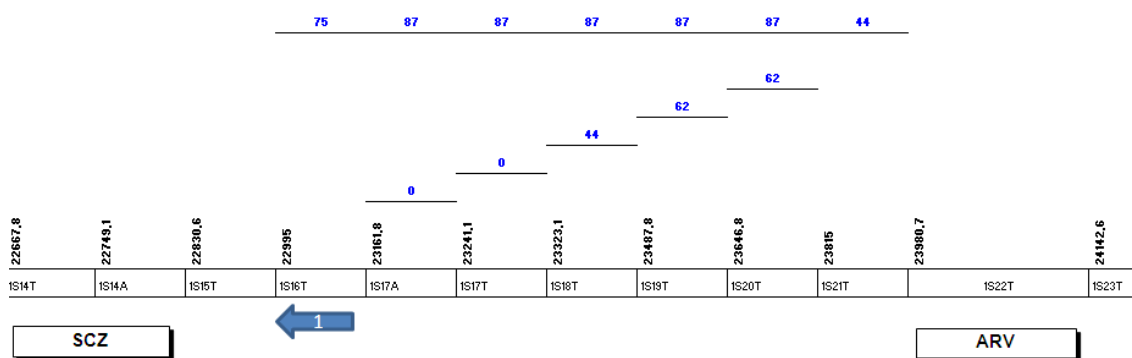
Para melhorar o entendimento de bloco móvel e bloco fixo abriremos um parêntese para apresentar o seguinte:

Os sistemas de sinalização de bloco fixo caracterizam-se por trechos na via, de tamanho variável, nos quais o sistema detecta a presença ou não de um trem, e em

função dessa detecção estabelece as condições de segurança traduzida por permissão de máxima velocidade de tráfego para o trem que esta atrás.

Isso faz com que o perfil de segurança deixado pela presença de um trem no trecho de via é determinado em função do ponto na via limite do trecho, mesmo que a traseira do trem esteja próxima da outra extremidade do trecho.

Ver figura a seguir



Esta figura representa um trecho da linha-1, entre as estações Praça da Árvore e Santa Cruz.

A via é seccionada em trechos denominados circuitos de via.

Ex. O circuito de via 1S16T, quando um trem esta sobre ele, com a via livre a sua frente, receberá o código de velocidade de 75, que significa que a máxima velocidade permitida no trecho é de 75 km/h.

O sistema de sinalização gera na traseira do trem o perfil de segurança para o trem que vem atrás. Então, a presença de um trem no trecho 1S16T gera em 1S17A e 1S17T 0 km/h, que em condições livres a frente seria 87 km/h;

Em 1S18T 44 km/h que em condições livres a frente seria 87 km/h;

Em 1S19T 62 km/h que em condições livres a frente seria 87 km/h;



AEAMESP



Em 1S20T 62 km/h que em condições livres a frente seria 87 km/h, onde termina a interferência pela presença do trem;

E em 1S21T o código continua 44 km/h, o mesmo das condições livre a frente.

Vale notar que enquanto a traseira do trem estiver dentro do trecho 1S16T, nada muda atrás.

No bloco móvel, o perfil de segurança deixado por um trem não é em função de pontos fixos na via, mas sim da posição da traseira do trem na via. Quer dizer que se o trem se deslocar 10 metros, o perfil de segurança se desloca junto, diferentemente do bloco fixo, no qual o perfil de segurança só se desloca quando todo o trem abandonar o trecho de via.

Isso faz com que o sistema de bloco móvel permita uma maior aproximação entre os trens.

Sim tal afirmação é verdadeira, mas não mostra toda a verdade.

Nas regiões de AMV's, o sistema de bloco móvel se comporta como bloco fixo, portanto o perfil de segurança só muda quando o trem abandonar o trecho de AMV, exatamente igual ao sistema de bloco fixo.

Fim do parêntese para melhor entendimento dos sistemas de sinalização voltamos para a descrição.

A questão de aumento da oferta está diretamente ligada à quantidade de trens que passam nas estações por um determinado período de tempo, conhecido como fator *headway* (intervalo entre trens).



AEAMESP



Por definição, o *headway* é o intervalo de tempo decorrido entre dois trens consecutivos que trafegam na mesma via no mesmo sentido e com o mesmo desempenho.

Como a linha se comporta como um carrossel, para que o *headway* da via seja constante, é preciso que todos os trens tenham o mesmo desempenho nos mesmos pontos da via, o que requer que quando os trens estiverem em movimento, o trem de trás tenha o mesmo desempenho do trem da frente, e isso só é possível se o trem de trás não for afetado pela curva de segurança do trem da frente, ou pelas condições de via a frente, o que é chamado de interferência e causa uma diminuição na velocidade de trem de trás, alterando o seu desempenho.

Fatores preponderantes que determinam a curva de segurança são:

Nos trens, a velocidade, a taxa de freio e os tempos de resposta dos trens aos comandos.

Na via, cotas dos AMV's, cotas das plataformas, grades, limite civil dos trechos.

Em relação ao desempenho, os pontos críticos de uma via que causam maiores tempos de interferência no movimento dos trens, são as plataformas, pois são os pontos onde o trem da frente fica parado mantendo a curva de segurança estática. Neste mesmo tempo, o trem de trás em movimento, se aproximando cada vez mais de tocar a curva de segurança.

Os terminais em plataformas causam ainda mais interferência na movimentação dos trens, pois são os pontos onde os trens vão manobrar, que além de parar ainda vão se deslocar em sentido contrário ao sentido de movimento do trem de trás no AMV de manobra.



AEAMESP



Como uma corrente é tão forte como o mais fraco de seus elos, é fácil perceber que as regiões que irão determinar o *headway* mínimo da via, são as de piores condições, ou seja, terminais e plataformas.

Então, para diminuir o *headway*, devemos focar o estudo nas regiões de manobra e nas plataformas.

3. PREMISSAS DO ESTUDO

As premissas básicas deste artigo levam em conta a experiência vivida ao longo de projetos e operação de diversas linhas.

Por que e para quem?

Um projeto deste tem como objetivo primeiro o passageiro.

Deve-se obter o melhor custo benefício entre todo o projeto.

As áreas envolvidas no projeto global não devem visualizar o projeto como sendo somente de sua especialidade, mas sim como um todo.

Para que isso seja viável, é necessário um grupo técnico no empreendimento com o perfil de engenharia de sistemas, com a vivência de ver o empreendimento como um todo, e não como várias partes separadas.

Ainda utilizar a experiência de projetos de sistemas bem sucedidos, observando as características de sucesso e as que culminaram em resultados não tão satisfatórios (arestas de projeto).

Durante as definições na fase do projeto básico, o traçado da via, deve ser feito em conjunto com as definições do sistema de sinalização e controle, e com as características do material rodante. Para obter o melhor custo benefício, é necessário



AEAMESP



utilizar simulações de desempenho operacional, capaz de detectar problemas que só seriam detectados após o sistema entrar em operação real.

4. DEFINIÇÕES DE UM PROJETO

Quando da definição de um projeto de transporte de massas de alta capacidade, deve ser levado em conta:

Trecho que o transporte deve atender.

Em função da demanda de viagens, e integração com o trecho já em operação, é definido o trecho onde a nova linha vai operar.

Distância média entre as estações.

Deve ser definido um valor médio entre as estações, em função das demandas das regiões em redor de cada estação. Cabe aqui lembrar que a experiência adquirida do Metrô de São Paulo, nos mostra que este valor está em torno de 1000 a 1500 metros.

Localização aproximada das estações.

Capacidade de transporte máximo da linha.

Níveis de conforto, caracterizado pelas taxas de aceleração e frenagem do material rodante e pela ocupação do espaço do trem durante o transporte.

Parâmetros de desempenho e segurança do material rodante e do sistema de sinalização.

Velocidade Comercial, tempo de parada nas plataformas.

5. BASE DO ESTUDO

A seguir são descritos os parâmetros utilizados nas simulações de movimentação de trens realizadas neste estudo.



AEAMESP



O modelo do trem utilizado nas simulações é o modelo do trem do Metrô da Linha-3 Vermelha.

Freio máximo de serviço = $1,2 \text{ m/s}^2$.

Taxa de aceleração máxima = $1,1 \text{ m/s}^2$.

Jerk = $0,8 \text{ m/s}^3$.

Offset de velocidade = $4,0 \text{ km/h}$.

Tempo de cigarra das portas = 3 s .

Atraso na propulsão = 1 s .

Velocidade máxima real na via = 83 km/h .

Tempo de roda parada roda andando nas plataformas = 30 s .

Tempo de roda parada roda andando nas TM's fora das plataformas = 15 s

Tempo de movimentação das máquinas de chaves para alinhamento das rotas = 7 s

Taxas de Parada Programada de ND

$0,86 \text{ m/s}^2$, $0,75 \text{ m/s}^2$, $0,67 \text{ m/s}^2$ e $0,55 \text{ m/s}^2$.

Taxas de Propulsão de ND

$1,11 \text{ m/s}^2$, $0,75 \text{ m/s}^2$, e $0,55 \text{ m/s}^2$.

Níveis de Velocidade de ND

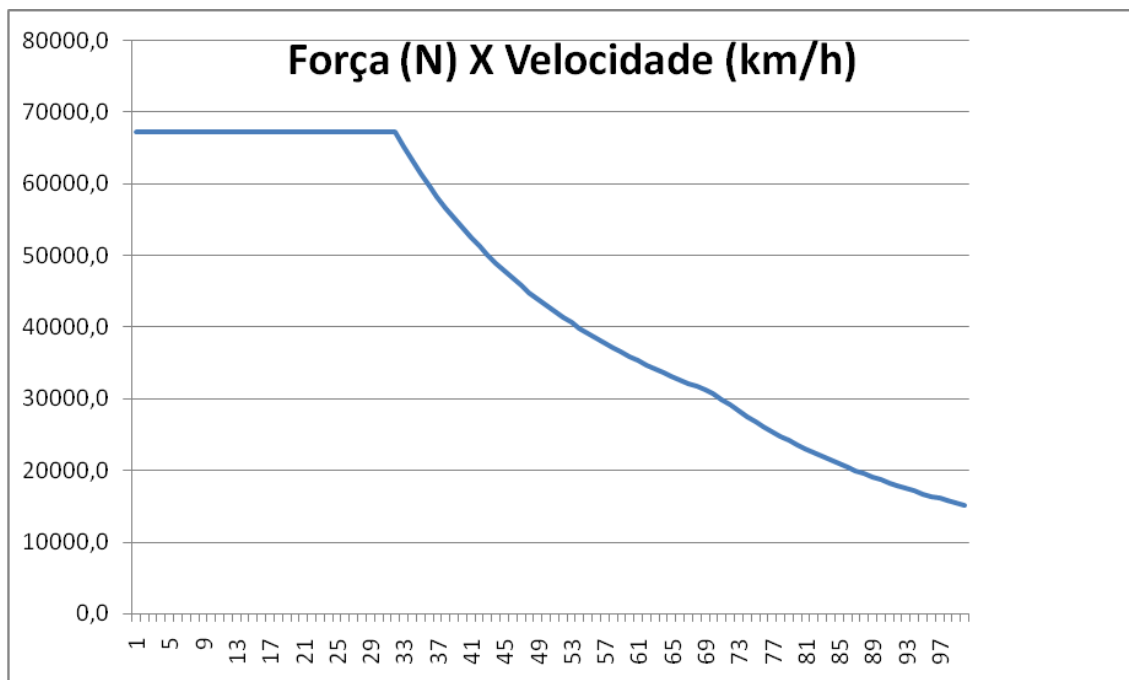
100 km/h , $96,5 \text{ km/h}$, 93 km/h , $89,5 \text{ km/h}$, 86 km/h ,

$82,5 \text{ km/h}$, 79 km/h , $75,5 \text{ km/h}$, 72 km/h , 68 km/h ,

65 km/h , $61,5 \text{ km/h}$, 58 km/h , 55 km/h , 51 km/h ,

44 km/h.

O gráfico a seguir mostra a curva de potência do trem.



Os parâmetros da via, tais como grade, cotas e raios de curvaturas utilizados foram os mesmos das vias permanentes das Linhas 1 e 3 do Metrô de São Paulo.

A base do estudo tem como primeira aproximação localizar as características principais dos terminais de manobras hoje existentes e identificar as vantagens e desvantagens desses terminais.

6. O ESTUDO

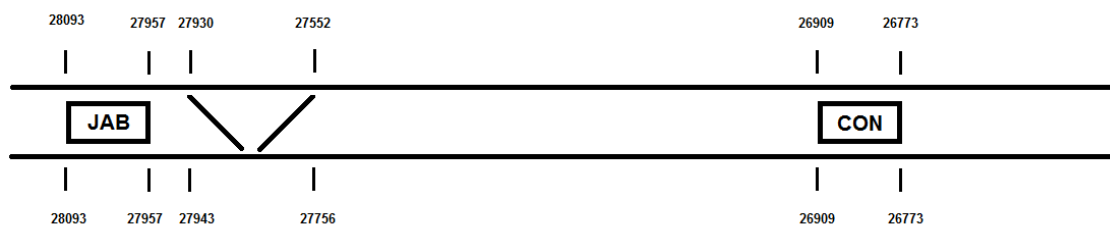
6.1. Regiões de manobra.

Nesse capítulo, são analisadas três regiões existente no metrô de São Paulo.

A região do terminal de Jabaquara Linha-1, e os terminais de Barra Funda e Itaquera da Linha-3.

6.1.1. Terminal de Jabaquara

Figura do terminal de Jabaquara



Características do terminal Jabaquara

Manobra na TM Plataforma de Jabaquara tempo de parada 30 s.

Distância do bloqueio do AMV até a plataforma 27 m.

Tamanho do AMV 187 m.

Velocidade real de passagem pelo AMV 40 km/h.

Vantagens:

A distância do AMV até o ponto de parada, fazendo com que o tempo de ocupação do terminal seja o mínimo possível.

Tempos de percursos iguais nos dois pontos de manobra (TM's simétricas).

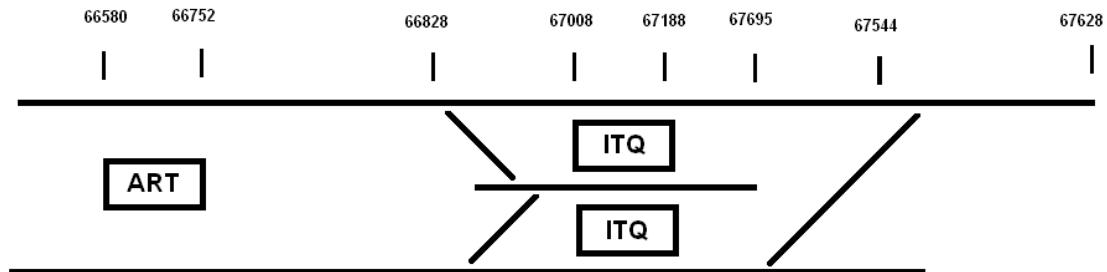
Desvantagens:

Tempo de parada nas duas TM's que é a própria plataforma = 30 s, aumentando o tempo de interferência na manobra.

Ponto crítico Tm-1 na plataforma.

6.1.2. Terminal de Itaquera

Figura Itaquera



Características do terminal de Itaquera

Manobra na TM na Plataforma tempo de parada 30 s.

Distância do bloqueio do AMV até a plataforma 120 m.

Tamanho do AMV de entrada 180 m.

Velocidade real de passagem pelo AMV 58 km/h.

Vantagens:

Configuração da Entrada, minimizando a interferência causada pela parada na plataforma.

Desvantagens:

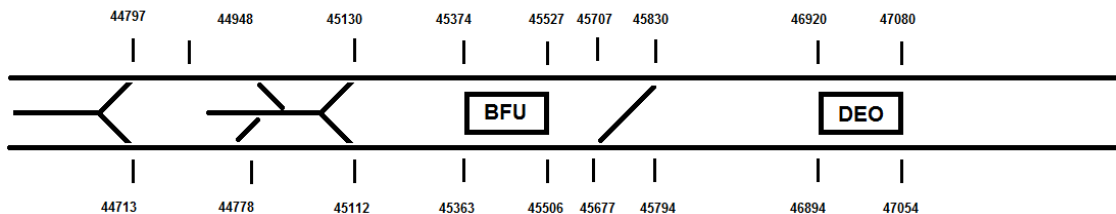
Tempo de parada na TM-1 que é a própria plataforma = 30 s.

A grande diferença de tempos de percurso entre a manobra nos dois terminais (TM's não simétricas).

Ponto crítico TM-3 na plataforma.

6.1.3. Terminal de Barra Funda

Figura de Barra Funda



Características do terminal de Barra Funda

Manobra na TM atrás da Plataforma tempo de parada 15 s.

Distância do bloqueio do AMV até a plataforma 244 m.

Tamanho do AMV 182 m.

Velocidade real de passagem pelo AMV 58 km/h.

Vantagens:

Tempo de parada nos terminais 15 s

Manobra sem usuários para causar interferência de portas.

Desvantagens:

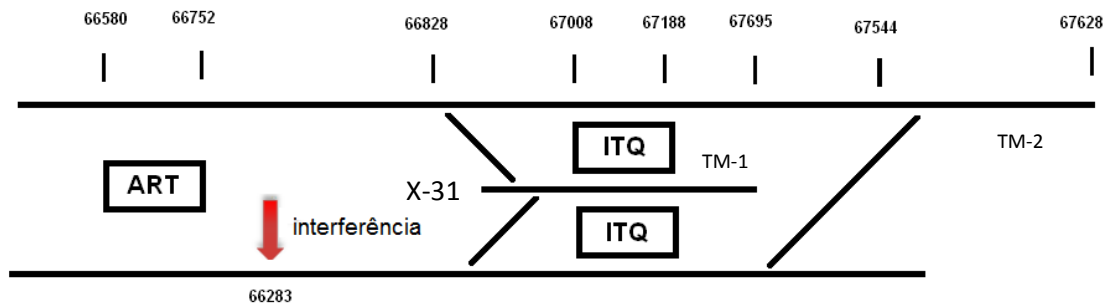
Distância entre as TM's e a plataforma, aumentando o tempo de percurso entre a plataforma e os pontos de manobra.

Tempos de percurso entre a plataforma e as TM's diferentes (TM's não simétricas).

Ponto crítico não é a TM-1 mas a plataforma.

6.1.4. Análise das Terminais

6.1.4.1. TERMINAL DE ITQ HOJE

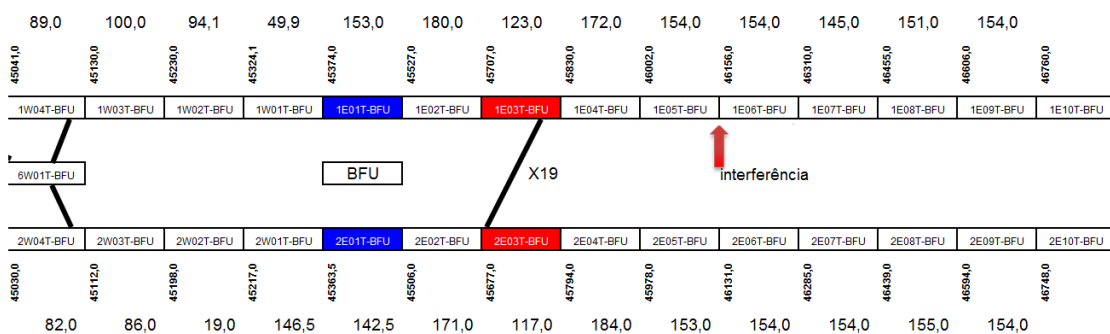


A rota não alinhada em X31 ocasiona o perfil equivalente à ocupação de 2W01T-ITQ, portanto, tendo o ponto de interferência na cota 62283 a 906 m da plataforma e a 725 m do bloqueio. (sinal)

O trem prioritariamente, manobra na TM-1 plataforma de Itaquera 3, plataforma central. Caso a região esteja ocupada, o trem segue para a plataforma 2 e executa a manobra na TM-2.

6.1.4.2. TERMINAL DE BFU HOJE

Esta análise leva em conta a sinalização atual, ou seja, bloco fixo.





AEAMESP



O terminal escolhido atende as especificações de intervalo mínimo teórico, definidos na época do projeto, de 90 segundos. Atualmente depois da mudança do código de velocidade máxima de 100 para 87 km/h, o intervalo mínimo teórico mudou para 97,5 segundos e cumpre muito bem suas funções.

Este exemplo foi escolhido para se tornar base no desenvolvimento de um projeto básico de um terminal, que visa atender a altíssima demanda de passageiros ao longo do tempo.

Este estudo se baseia na realidade vivida hoje na Linha-3 Vermelha, onde a necessidade de transporte é muito maior do que o limite imposto pelas condições de segurança da linha, com o intuito de uma solução para o caso, e isentando-se de limites impostos por verbas de desapropriação e de implantação, para atender a necessidade de diminuição do intervalo mínimo.

Atualmente, o intervalo da Linha-3 é de 100 segundos (36 trens/hora), que com o nível de conforto de seis passageiros em pé por metro quadrado, tem a capacidade de transporte de 58.500 passageiros por hora sentido.

Sabemos que um intervalo de 60 segundos (60 trens/hora), poderia atender melhor os usuários da Linha-3 Vermelha, o que significaria 97.500 passageiros por hora sentido, com um nível de conforto de seis passageiros em pé por metro quadrado.

O ponto de interferência devido à presença de um trem na plataforma de BFU ao bloqueio de X19, que se encontra na cota 46156, significa que enquanto um trem estiver na região da plataforma, o trem de trás não poderá passar desta cota, para que não sofra interferência da curva de segurança, e conseqüentemente alteração no desempenho em relação aos outros trens.



AEAMESP



Tempo de percurso do ponto de interferência cota (46156) até a parada na plataforma de BFU-1 = 50 s.

Tempo de parada em BFU-1 = 30 s.

Tempo de percurso entre o fechamento das portas até a traseira do trem liberar a plataforma de BFU-1 = 18 s.

Tempo de percurso do ponto de interferência até a liberação do circuito de via da plataforma de BFU-1 = 98 s.

Portanto se no instante $t = 0$ o primeiro trem estiver no ponto de interferência, para que não ocorra interferência, o segundo trem só poderá estar na mesma cota com a mesma velocidade no instante $t = 98$, o que caracteriza o intervalo mínimo de entrada na plataforma de 98 segundos.

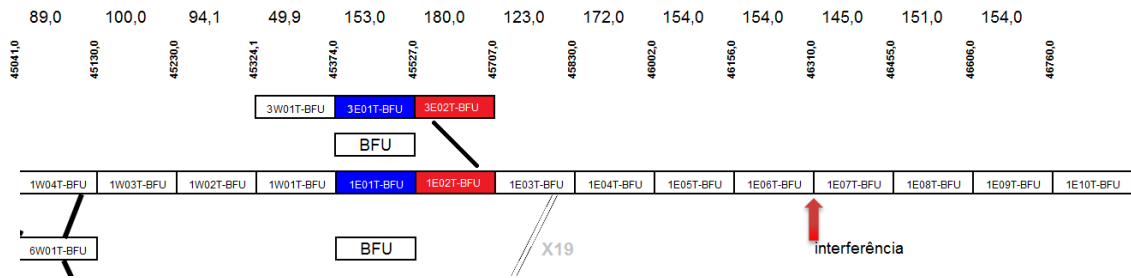
Quando o trem da frente desocupar o trecho 1E02T-BFU (plataforma de BFU-1), o trem de trás poderá estar na cota (46156) ponto de interferência, que é onde ocorre rebaixamento de código de velocidade devido à presença do trem na plataforma.

A análise do terminal de Barra Funda nos mostra que o ponto crítico não são as TM's e sim as plataformas.

Acrescentando-se a via-3 na plataforma com um AMV semelhante ao da entrada nas plataformas de Itaquera temos:



AEAMESP



Podemos notar que:

- a inserção da chave no circuito de via 1E02T–BFU faz com que o ponto de interferência retroceda para a cota 46310, início do circuito de via 1E06T-BFU.
- tão logo o trem da frente livre a chave (1E02T-BFU), e esta se movimenta, alinhando a rota para a via 3, a interferência se desfaz, possibilitando a chegada do trem de trás a cota 46310, ponto de interferência.
- então poderemos ter um trem parado na plataforma (1E01T-BFU) e outro na aproximação em 1E04T, 1E03T, pois irá para a plataforma 3E01T-BFU.
- o que faz com que o intervalo mínimo de aproximação da plataforma se reduza do tempo de parada na plataforma (30 s) mais o tempo de percurso para livrar a plataforma (18 s) menos o tempo de percurso de 1E06T-BFU (7 s) menos o tempo de movimentação das máquinas de chave (7 s).

Os valores obtidos das simulações foram:

Tempo de percurso entre o ponto de interferência cota (46310) até a parada na plataforma de BFU-1 = 53 s.

Tempo de percurso entre o ponto de interferência cota (46310) até desocupar o circuito de via 1E02T-BFU = 51 s.



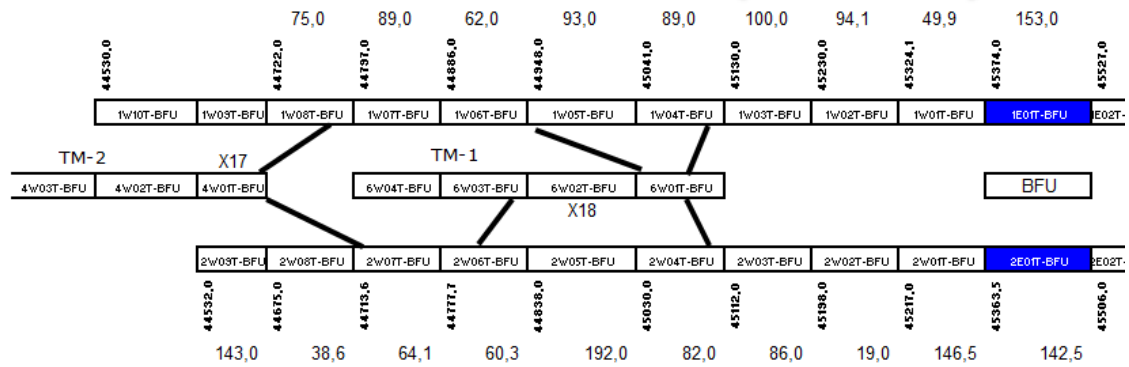
AEAMESP



Tempo de alinhamento de rota = 7 s.

O que significa que 58 segundos depois do trem ter passado pelo ponto de interferência, o trem de trás pode estar na cota 46310, com rota alinhada para a nova plataforma 3 de BFU. Então, a nova configuração com o circuito 3E01T-BFU, permite um intervalo de chegada em BFU de 58 segundos.

6.1.4.3. ATUAIS PONTOS DE MANOBRAS (TMs)



Hoje, as manobras no terminal de BFU são executadas nas TM-1 via 6 e TM-2 via 4, sendo preferencial a manobra na TM-1.

A sequência quando do mínimo intervalo é o primeiro trem manobra na TM-1 e o segundo na TM-2.

Para que os terminais sejam simétricos, o tempo de permanência na TM-2 é somente o tempo necessário para a ação de reversão de cabine, enquanto na TM-1 além do tempo de reversão de cabine, o trem fica parado mais a diferença de percurso entre as manobras. Isso faz com que o intervalo de chegada na plataforma BFU-1 seja o mesmo intervalo de saída da plataforma BFU-2, desde que os tempos de parada nas duas plataformas sejam o nominal, 30 segundos.

Atualmente o intervalo mínimo de manobra somente pela TM-1 é de 120 segundos.

Tempo de percurso entre BFU-1 e a parada na TM-1 = 44 s.

Tempo de reversão de cabine na TM-1 = 15 s.

Tempo de percurso entre TM-1 até livrar chave 2W04T-BFU = 21 s.

Tempo de movimentação da chave = 7 s.

Tempo de percurso entre BFU-1 e a parada na TM-2 = 62 s

Tempo de reversão de cabine na TM-2 = 15 s

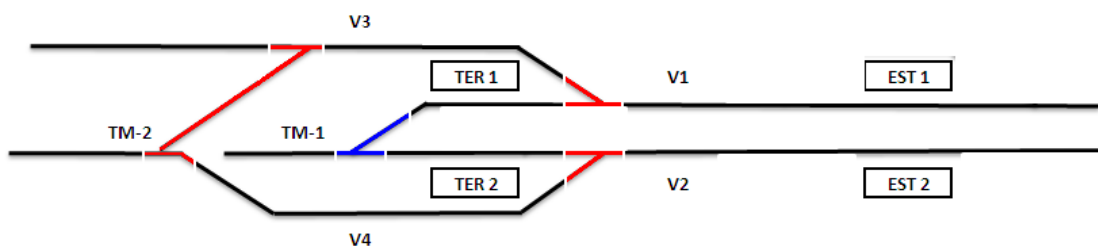
Tempo de percurso entre TM-2 e a parada em BFU-2 = 63 s

7. Proposta

7.1. Regiões de Terminais

Com o intuito de diminuir o tempo de percurso entre a plataforma e a TM-1, podemos aproximar a TM-1 da plataforma de 160 metros em relação às dimensões atuais.

O comprimento de uma parte do AMV do terminal de Jabaquara tem a distância de 94 m, então se colocarmos um AMV simples semelhante ao do terminal de Jabaquara afastado de 40 metros da plataforma de BFU, logo após a TM-1 teremos:



AMV em azul idêntico ao AMV de X-01 de Jabaquara.



AEAMESP



AMV's em vermelho, idênticos aos AMV's de Itaquera e Barra Funda.

Em 38 segundos, o trem que parte da plataforma de TER-1 para na TM-1, com uma velocidade máxima no trecho de 40 km/h, chega na TM-1.

Em 35 segundos o trem que parte da TM-1 para na plataforma de TER-2, com uma velocidade máxima no trecho de 40 km/h, chega na TER-2.

Se colocarmos um AMV semelhante ao de X31 ITQ para a manobra na TM-2.

Em 52 segundos, o trem que parte da plataforma de TER-1 para na TM-2, com uma velocidade máxima no trecho de 70 km/h e passagem pela chave a 58 km/h, chega na TM-2.

Em 51 segundos, o trem que parte da TM-2 para na plataforma de TER-2, com uma velocidade máxima no trecho de 70 km/h e passagem pela chave a 58 km/h, chega em TER-2.

Sendo que a parada nominal na TM-2 é de 15 segundos.

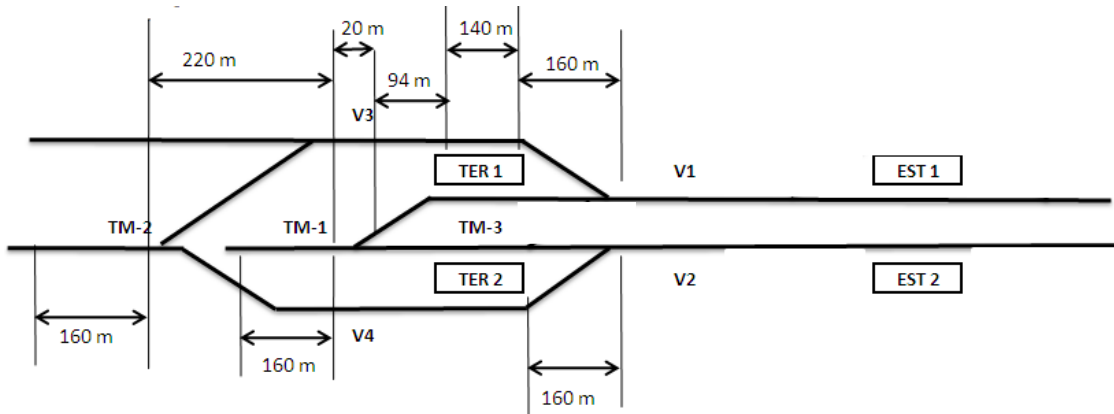
A parada na TM-1 deve ser de 45 segundos para a operação nas duas TM's, tornando as TM's simétricas.

Headway mínimo na manobra da TM-1 = 80 s

Headway mínimo na manobra da TM-2 = 94 s

Tempos obtidos de simulações com as seguintes cotas

Então, a configuração proposta para um futuro terminal capaz de operar com um intervalo mínimo de 58 segundos, com 30 segundos de parada na plataforma:



Então, teremos que é possível a cada 58 segundos um trem chegando em BFU (TER).

Tempo de percurso entre BFU (TER) chegada e BFU (TER) saída, quando se utiliza os dois terminais, deve ser igual ao tempo de percurso pelo terminal do fundo (TM-2), ou seja, 118 segundos. Com isso, a chegada e a saída em BFU (TER), ocorrem a cada 58 segundos, então na TM-1 temos um trem a cada 116 segundos e o mesmo acontece na TM-2.

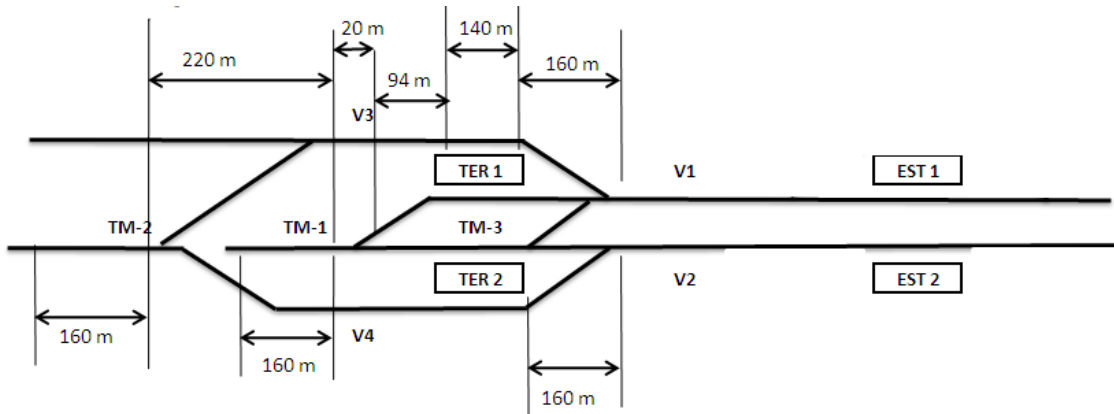
7.1.1. Descrição da Operação da Terminal

A configuração é composta por cinco chaves, duas mais do que a configuração atual de BFU. (Nesta configuração não está proposto nenhum ponto de estacionamento, o que acarretaria no aumento do número de máquinas de chave).

Dois trechos de via a mais que a configuração atual de BFU.

Operação no Vale

Enquanto o *headway* da via for maior que o intervalo mínimo da manobra na frente da plataforma, a operação será com a manobra pela TM-1. Ou a alternativa de acrescentar uma chave localizada à frente da plataforma como mostra a figura a seguir.



Nos horários de vale, a manobra na TM-3 reduz o tempo de volta em :

38 s, tempo de percurso entre TER-1 TM-1 + 30 s, tempo de parada em TER-1 + 15 s tempo de parada na TM-1, resultando em 83 s por terminal, 166 s no tempo de volta, o que pode significar um trem a menos nos horários de vale.

Nos horários de pico, a sequência de chegada nas plataformas de BFU (TER) é a seguinte:

Prioridade de chegada é a plataforma da Via1.

Com a impossibilidade de parada na Via1, o trem vai para a plataforma da Via 3.

Com o objetivo de tornar os dois terminais TM-1 e TM-2 simétricos, a diferença de tempo de percurso entre a manobra pela TM-2 e pela TM-1, será acrescentada na permanência do trem na TM-1, de maneira que a saída das plataformas da Via2 e Via4 ocorra no mesmo intervalo da chegada nas plataformas das Via1 e Via3.

7.1.2. Cálculo do intervalo mínimo

Para o cálculo do intervalo mínimo, primeiramente é necessário definir intervalo mínimo.



AEAMESP



Intervalo mínimo de uma linha é o intervalo entre dois trens consecutivos durante uma volta completa, sem que ocorra interferência de rebaixamento de velocidade em função da proximidade entre eles ou por condições de via a frente, causando um desempenho diferente do trem de trás em relação ao desempenho do trem à frente.

Então, fica fácil notar que onde existir AMV que se comporta como bloco fixo, é preciso determinar o ponto de interferência causada pela presença de trem ou outra impossibilidade de entrar na região de AMV.

É também fácil notar que o ponto de interferência é função da velocidade dos trens no trecho, taxa de frenagem de segurança, grade do trecho, e demais parâmetros envolvidos no cálculo da distância segura de frenagem dos trens que trafegam na linha.

Intervalo mínimo de manobra nos dois terminais é de 58 s.

Então, com essa configuração teremos um terminal capaz de suportar um *headway* teórico de 58 s com 30 s de parada nas plataformas.

Isto nos remete ao início deste estudo, onde verificamos que as situações que contribuem para o intervalo mínimo são os terminais de manobras e as paradas nas plataformas.

7.2. Regiões de Plataformas

Ao propormos uma nova configuração de terminais, capazes de um intervalo mínimo de manobra de 58 segundos com 30 s de parada nas plataformas, é importante verificar a disponibilidade do intervalo mínimo para as paradas nas plataformas, que podem não suportar um intervalo tão baixo.

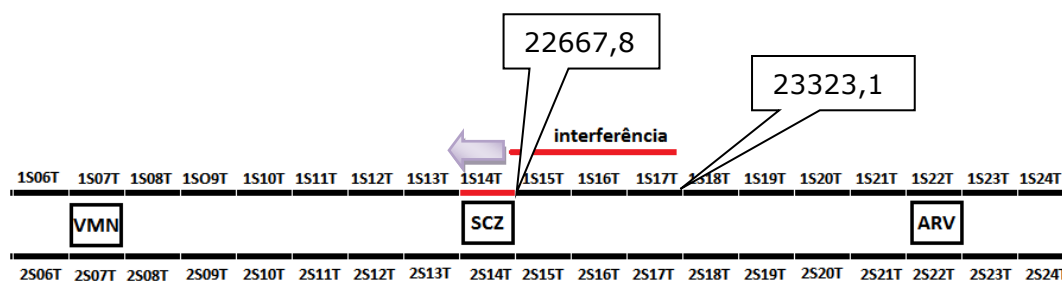
As regiões escolhidas para o desenvolvimento do estudo foram:

1-Via1 do trecho entre as estações Praça da Árvore (ARV) e Santa Cruz (SCZ), com todas as características atuais (bloco fixo, um dos mais longos = 1313 m).

2-Via2 do trecho entre as estações Anhangabaú (GBU) e Praça da Sé (PSE), por ser um dos mais curtos (713 m).

7.2.1. Linha 1 ARV SCZ

O projeto da Linha-1 estabelece um intervalo de 90 segundos para as plataformas, com um tempo de parada de 30 segundos. Então, os pontos críticos dessa nova configuração são as paradas nas plataformas.



Quando existe um trem parado na Plataforma1 de Santa Cruz SCZ-1, este fato se reflete até a cota **23323,1**, (limite entre os circuitos de via 1S17T e 1S18T da figura acima) o que faz com que em função da segurança a velocidade máxima do trem deva ser reduzida, acarretando assim no que chamamos de interferência por posição de trem a frente. Isto faz com que o trem de trás não tenha o mesmo desempenho do trem que está parado a frente no trecho.

Essa interferência caracteriza o limite de velocidade disponível na distância para a garantia da segurança.



AEAMESP



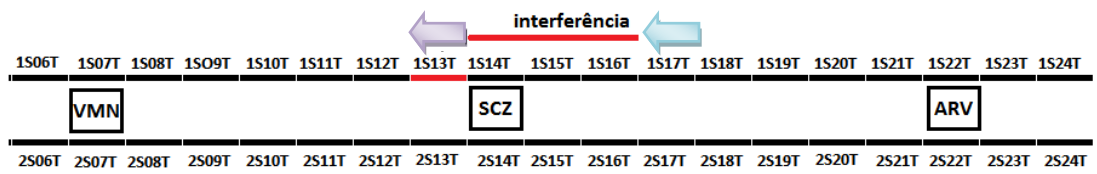
Portanto, qualquer trem que esteja antes dessa cota no instante que o trem da frente sair da plataforma de SCZ-1, passando pela cota **22667,8**, não sofrerá alteração no seu desempenho.

O *headway* mínimo no trecho é medido entre o instante que o primeiro trem passa pela cota **23323,1**, até parar em SCZ-1 + o tempo de parada (roda parada, roda andando), + o tempo que leva para passar da cota **22667,8**, Isto hoje possibilita um intervalo de 88 segundos.

Tempo de percurso entre a cota **23323,1** até a parada em SCZ-1 40 segundos.

Tempo de parada em SCZ-1(roda parada, roda andando) = 30 segundos.

Tempo até a traseira do trem passar pela cota **22667,8** = 17 segundos.

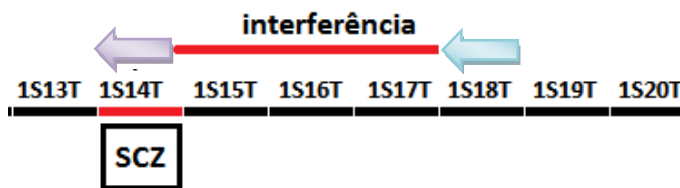


Dados obtidos em simulações descrevem o movimento do trem saindo de ARV-1 e chegando em SCZ-1.

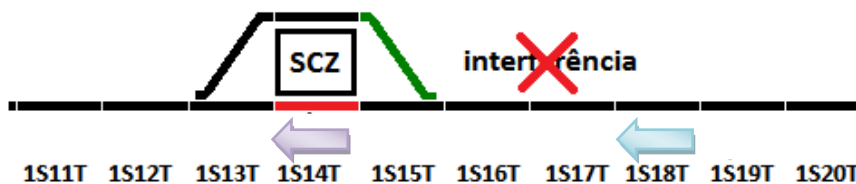
- T = 0,0 s sai na plataforma de ARV-1 circuito de via 1S22T
- T = 39,5 s ocupa o circuito de via 1S19T
- T = 48,0 s ocupa o circuito de via 1S18T
- T = 61,5 s ocupa o circuito de via 1S17T
- T = 74,5 s ocupa o circuito de via 1S15T

- T = 92,5 s desocupa o circuito de via 1S15T
- T = 101,5 s para na plataforma de SCZ-1 circuito de via 1S14T
- T = 132,0 s sai na plataforma de SCZ-1 circuito de via 1S14T
- T = 149,0 s desocupa a plataforma de SCZ-1 circuito de via 1S14T

O que resulta num *headway* chegada em SCZ-1 de 88 segundos.

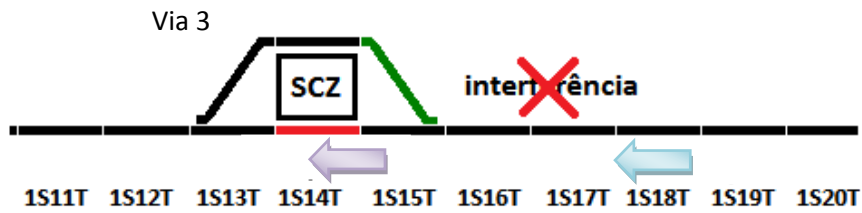


Se no momento da parada do trem na plataforma suprimirmos a interferência, o trem de trás poderá estar posicionado no mesmo ponto, porém, quando da parada do trem e não do abandono da plataforma do trem da frente. Com isso, o intervalo mínimo seria reduzido do tempo de parada somado ao tempo de abandono da plataforma menos o tempo de alinhamento de rota menos o tempo de percurso da variação do ponto de interferência, causado pela inserção da chave antes da plataforma.



Adotando a mesma solução utilizada na entrada das plataformas da estação terminal, temos:

AMV na entrada e na saída das plataformas, idêntico ao AMV de X-01 para velocidade limite de 40 km/h, criando a Via3.



Com a inserção da chave no circuito de via 1S15T, temos a interferência no circuito 1S18T. Então logo que o trem da frente desocupe 1S15T somado ao tempo de alinhamento de rota (7 segundos), o trem atrás pode ocupar 1S18T, resultando num *headway* de chegada em SCZ-1 de 52 segundos.

O sistema de sinalização e controle é responsável pela automatização da operação das chaves, de forma semelhante ao controle de terminais, quando o trem desocupar a região da chave na rota normal, alinha a rota reversa, e quando o trem desocupar a região da chave na rota reversa, alinha a rota normal.

7.2.2. Linha 3 GBU PSE

O raciocínio é o mesmo utilizado para o estudo da Linha-1, o objetivo da repetição do estudo é mostrar que a viabilidade em trechos curtos (713 m).

Dados obtidos em simulações de movimentação de trens entre as estações GBU-2 e PSE-2.

A figura a seguir mostra a sinalização atual no trecho

distância	172,8	130,8	131,4	156	107,2	187,8	
cotas	49230	49403	49534	49665	49821	49928	50116
Cod ATP	62	62	62	62	62	62	
Perfil Interferência		44	30	0	occ		
Perfil Interferência				0	0	occ	

	2E10T	2E11T	2E12T	2W02T	2W01T	2E01T	2E02T
	GBU					PSE	



AEAMESP



GBU-PSE

T = 0 sai da plataforma de GBU-2 circuito de via 2E10T

T = 9,5 ocupa o circuito de via 2E11T

T = 21,0 ocupa o circuito de via 2E12T

T = 21,0 desocupa o circuito de via 2E10T

T = 30,5 ocupa o circuito de via 2W02T

T = 30,5 desocupa o circuito de via 2E11T

T = 39,5 desocupa o circuito de via 2E12T

T = 41,5 ocupa o circuito de via 2W01T

T = 49,5 ocupa o circuito de via 2E01T

T = 51,5 desocupa o circuito de via 2W02T

T = 60,5 desocupa o circuito de via 2W01T

T = 64,5 para na plataforma de PSE-2 2E01T

T = 94,5 sai na plataforma de PSE-2 2E01T

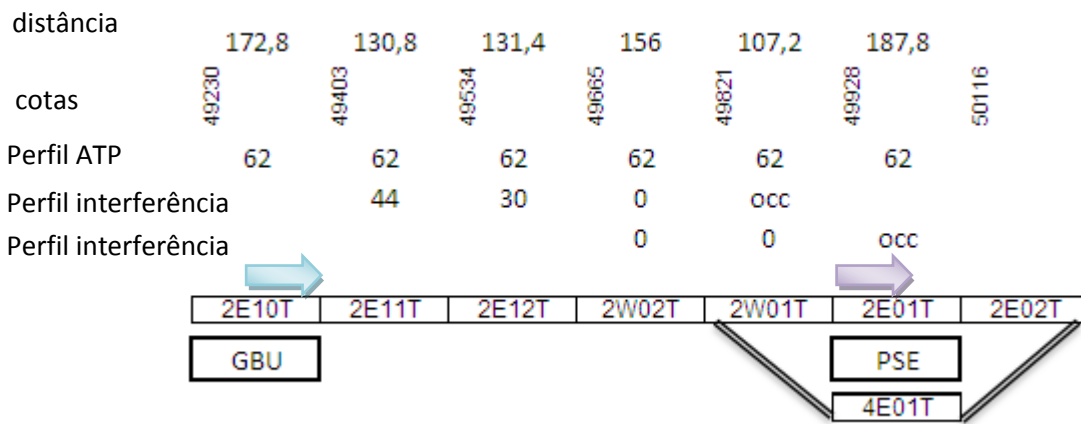
T = 105,5 ocupa o circuito de via 2E02T

T = 115,5 desocupa o circuito de via 2E01T

A interferência pela ocupação da plataforma de PSE-2 ocorre no circuito de via 2W02T cota 49665. Então o *headway* da chegada em PSE-2 é de 85 segundos.



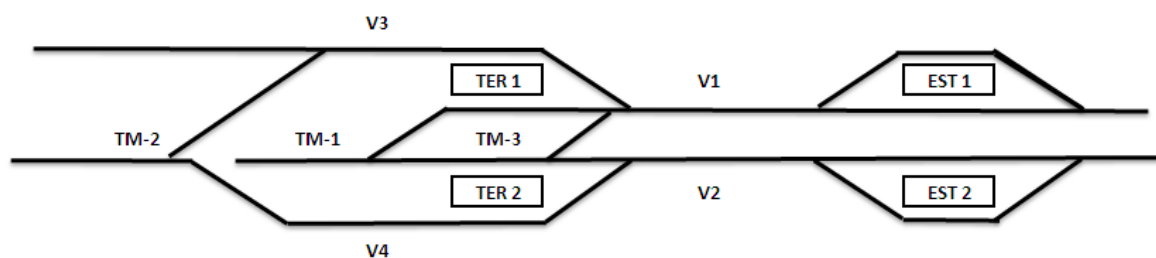
AEAMESP



A chave semelhante ao AMV de X-31 para velocidade limite de 58 km/h, colocada no circuito de via, 2W01T faz com que a interferência ocorra no circuito de via 2E11T cota 49403 então o *headway* da chegada em PSE-2 é de 58 segundos.

Então, podemos afirmar que a configuração de plataformas proposta suporta um *headway* de 58 segundos com qualquer sistema de sinalização e nas maiores e menores distâncias entre plataformas.

Figura do terminal com as plataformas

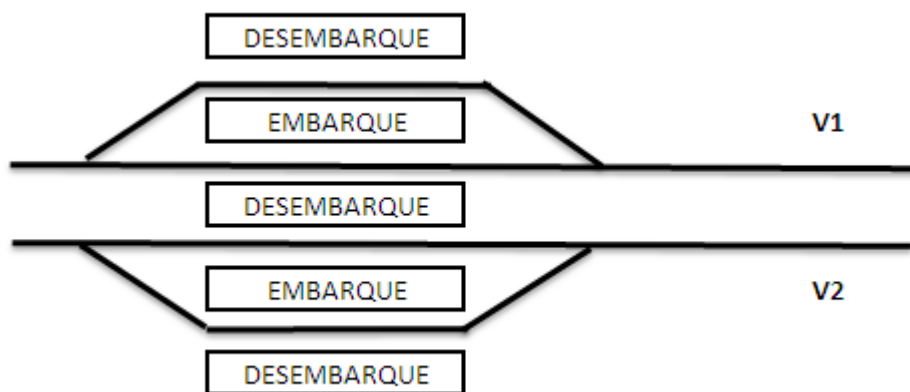


A chegada de um trem a cada 58 segundos por via, o que no pior caso pode ser um trem a cada 29 segundos nas plataformas da estação, em função da demanda do local, pode exigir uma configuração mais adequada nas plataformas para atender o fluxo de passageiros.

Atentando para o detalhe que soluções devem ser obtidas para todo o sistema, então a nova linha deve ter os terminais nas duas extremidades e todas as plataformas com a configuração proposta para se obter um intervalo na linha de 58 s.

Não basta ter os terminais capazes de operar a 58 s, se as plataformas ao longo da linha não forem capazes do mesmo intervalo.

Uma configuração de estação de alto carregamento, semelhante à estação Praça da Sé, ficaria conforme figura abaixo.



7.3. Regiões de Via

A parte restante do estudo é a região entre plataformas, aqui chamada de via corrida.

As simulações mostram que tanto o sistema de sinalização de bloco fixo quanto o de bloco móvel atendem ao intervalo proposto de 58 segundos.

Aqui vale observar a vantagem do sistema de bloco móvel em relação ao bloco fixo, pois é somente na via corrida que se observa um intervalo menor para o sistema de bloco móvel em relação ao bloco fixo.

7.4. Facilidades Operacionais

Essa configuração permite algumas facilidades operacionais, tais como:

Menor tempo de montagem do carrossel.

Menor tempo de adequação nas transições entre vale e pico.

Maior flexibilidade operacional na implementação de estratégias operacionais e quando da ocorrência de falhas em trens.

8. OUTRAS PROPOSTAS PARA SEREM ESTUDADAS

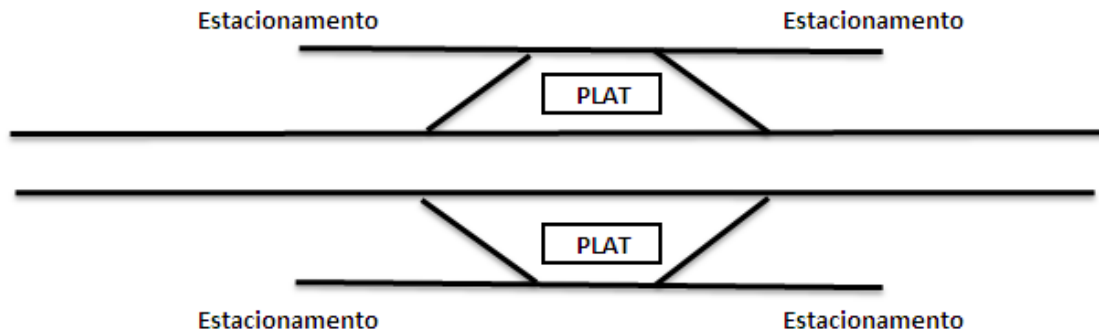
Com objetivo de reduzir o custo da linha em função do aumento do custo das estações, é possível em função dessa configuração propor algumas alternativas, que dependem de estudos mais aprofundados para a operação da nova linha como um todo.

8.1. Posição de Estacionamentos ao Longo da Via

Posicionando os estacionamentos próximos das plataformas e aproveitando a vantagem dos AMV's estarem sempre próximos das plataformas, o que resultado seria mais rapidez e facilidade de acesso, transferindo assim os estacionamentos dos pátios para a região das estações.

Maior flexibilidade nos momentos de retirada de trens com falha.

Diminuição nos tempos de montagem do carrossel e nas transições entre pico e vale, diminuindo o consumo de energia que hoje é necessário quando, por exemplo, no início do pico da tarde da Linha-3 é necessário que os trens, que entram do pátio de Itaquera, dêem meia volta, praticamente vazios, para atender a Via-2.

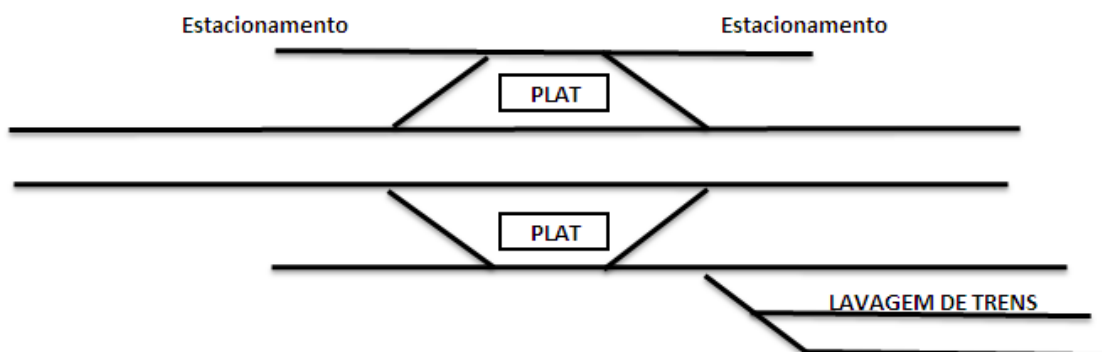


Desmembramento de Funções do Pátio

Cidades com necessidade de transporte de massa de alta capacidade com alto desempenho são altamente povoadas e de alta densidade demográfica, o que acarreta alto custo em grandes áreas, tipo áreas para pátio de manobras e de manutenção.

O desmembramento de funções de manutenção do pátio para a via poderá acarretar menor custo.

Por exemplo, a lavagem dos trens poderia ser deslocada para uma região de estacionamento ao longo da via, assim como outras atividades.



Outras áreas como escritórios, laboratórios, áreas operacionais, poderiam ser deslocados para prédios e instalações que aproveitem as estruturas das estações.



AEAMESP



O estacionamento de trens ao longo da via principal faria com que a área de pátio se tornasse bem menor.

Para isso, cabe um estudo aprofundado do sistema como um todo para a avaliação da validade dessas propostas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os modelos e referências utilizados neste estudo foram propositalmente com a sinalização de bloco fixo, com o intuito de mostrar que o limitante do intervalo mínimo da linha não é o tipo do sistema de sinalização.
- Num sistema de alto desempenho, as soluções eficientes são sistêmicas e não individualizadas.
- Em regiões de manobras, o mais importante não é o sistema de sinalização e sim a configuração das chaves.
- Em linhas de alto desempenho, nos horários de pico (*headway* mínimo), as manobras nunca devem ser feitas nas plataformas.
- O sistema de sinalização de bloco móvel tem a sua grande vantagem no que diz respeito ao intervalo da linha, fora dos locais de AMV (via corrida).
- O terminal só é o ponto crítico de uma linha, no que diz respeito à limitação para o *headway*, quando localizado na plataforma.
- Em linhas onde as TM's estão localizadas atrás (fora) das plataformas, se bem dimensionadas, o ponto crítico para uma linha, no que diz respeito à limitação para o *headway*, são as plataformas. Vide Barra Funda.



AEAMESP



- Sob o ponto de vista operacional, em terminais não se deve aplicar estratégias de regulação, principalmente estratégias que atrasam o trem.
- Em sistemas de sinalização de bloco fixo, o melhor desempenho dos terminais é fazendo com que o trem se aproxime da plataforma da estação terminal com o máximo desempenho.
- Em sistemas de sinalização de bloco móvel, o melhor desempenho dos terminais é fazendo com que o trem se aproxime da plataforma da estação terminal com a velocidade limite de passagem pelo AMV que antecede a plataforma.