

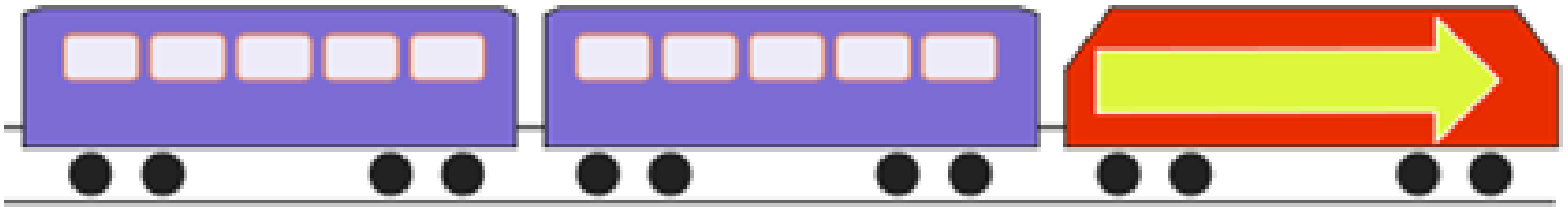
Operações ferroviárias tipo push-pull aplicadas a serviços de trens metropolitanos no Brasil

Victor de Almeida e Silva

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

Os trens convencionais

- Locomotiva rebocando um conjunto de vagões ou carros de passageiros:



- A locomotiva sempre vai a frente do trem e é responsável por gerar todo esforço de tração responsável por movimentar a composição.
- Trens de longo percurso ou baixa frequência



Os trens convencionais

- É a forma mais simples de se formar um trem,
- Bastante flexível
- Exige manobras de reversão que consomem tempo e espaço



- 



Os trens-unidade

- Mais caros que trens convencionais
- Equipamentos mais complexos,
- Melhor desempenho, principalmente para intervalos curtos entre trens.



Os trens push-pull

- Solução intermediária entre um trem puxado por uma locomotiva e um trem unidade.



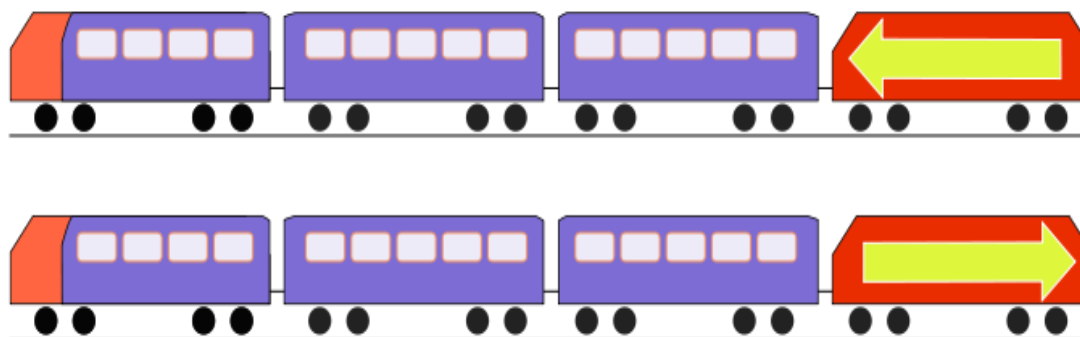
- Opera basicamente de 2 formas:



Os trens push-pull

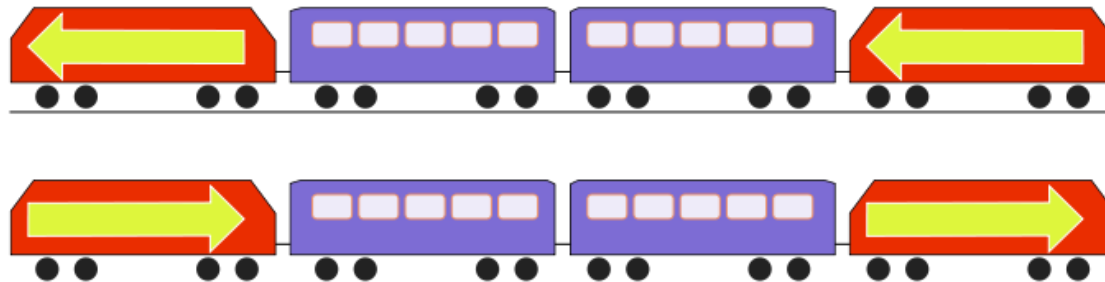


- Usando uma locomotiva para puxar o trem.
- Um carro com uma duplicata dos controles da locomotiva é usado quando a máquina empurra o trem:



Os trens push-pull

- A segunda forma é com locomotivas em ambas as extremidades do trem:
- Uma empurrando outra puxando, através de cabos de comando nos carros de passageiros



Qual é a vantagem do trem push-pull?

- A locomotiva não precisa ser desacoplada do trem
- Tempos de retorno rápido nas estações terminais da linha, o que é especialmente interessante para trens de subúrbio.
- Baixo investimento inicial e baixo custo de operação, o que se encaixaria muito bem nas necessidades nacionais



Porque não é utilizado em larga escala no Brasil?

- Ao contrário do praticado no exterior, no Brasil os sistemas de trens metropolitanos apoiam sua expansão primeiramente em: duplicação, eletrificação e uso de vias exclusivas para os trens de passageiros.
- O jeito brasileiro teoricamente é tecnicamente melhor, pois aumenta a capacidade de transporte, mas é mais caro o que atrasa sua execução e muitas vezes resulta a inviabilidade do projeto.
- O problema básico no Brasil é que se admite que regiões fiquem sem nenhum serviço de transporte ferroviário, ou até de qualquer outro serviço de transporte público, até que seja feita uma obra de implantação de um sistema definitivo de grande porte.



Espiral da morte em projetos de transporte.



Como verificar se o push-pull é uma solução?

- Foi escolhido como modelo para estudo de caso o ramal de Vila Inhomirim da Supervia
- Verificou-se se com a operação push-pull pode haver um aumento da capacidade máxima desse ramal e estimado o investimento necessário.
- Depois, avaliado o investimento previsto para um aumento de capacidade da mesma ordem, utilizando-se de outros tipos de material rodante e de outros tipos de investimentos, tal como obras civis.



Ramal de Vila Inhomirim, Supervia Rio de Janeiro

- Via singela, permite o cruzamento dos trens em Piabetá e Imbariê, não permitindo cruzamentos de trens com passageiros nas estações terminais.



- As locomotivas após o término da viagem desengatam do trem e são manobradas em um desvio, através do qual se posicionam na outra extremidade do trem e são novamente engatadas,
- Esta manobra é executada com o apoio de um funcionário dedicado a essa função, leva no mínimo 7min.

Ramal de Vila Inhomirim, Supervia Rio de Janeiro

- São operadas três composições dedicadas ao ramal, cada composição é formada por uma locomotiva com três carros de passageiro com capacidade de 200 passageiros por carro.



Cálculo de capacidade teórica máxima

- Simplificação da fórmula de Colson , que descreve a capacidade máxima de uma ferrovia em via singela:

$$n = k \frac{1440 - Tvp}{Te + Ti + Tl}$$

- n: capacidade em pares trens/dia
- K: fator de eficiência operacional (%)
- tvp: tempo médio diário de manutenção da via permanente (minutos)
- te: tempo de viagem entre os dois pátios de cruzamento sentido exportação (minutos)
- ti: tempo de viagem entre os dois pátios de cruzamento sentido importação (minutos)
- tl: tempo de cruzamento entre trens (minutos)



Cálculo de capacidade teórica máxima

- A diferença entre o tempo total disponível em um dia e o T_{vp} corresponde a janela de operação (J), ou seja, o tempo disponível para o tráfego de trens.
- A soma ($T_e + T_i + T_l$), corresponde ao tempo de ciclo de uma composição.
- O fator k, é diferença entre a capacidade máxima e a capacidade prática,
- . A capacidade prática é dada por fatores físicos e operacionais, que afetam tanto a operação convencional quanto a push-pull.



Cálculo de capacidade teórica máxima

- A operação push-pull elimina o tempo da manobra de reversão, de 7 para 1,53min, reduzindo o intervalo.
- Atual: 33 viagens/dia/sentido
- Com push-pull: 37 viagens/dia/sentido

$$\Delta_1 = 12,12\%$$



Cálculo de capacidade teórica máxima

- Além do aumento de oferta pela diminuição dos intervalos nos trens também teríamos o aumento de oferta pelo aumento da capacidade de cada trem, dado pela melhor aproveitamento do espaço das plataformas, dado da seguinte forma:

$$\Delta_2 = \frac{C_p - C_c}{C_c} \times 100\%$$

$$\Delta_2 = 49,3\%$$

	Número de carros por trem	Passageiros por carro	Capacidade total por trem
Trem em operação no ramal	3	200	600
Trem push-pull com carros adicionais	4	224	896

Cálculo de capacidade teórica máxima total

- O ganho máximo total de capacidade numa conversão simples da operação convencional para push-pull é a soma dos ganhos de aumento de frequência multiplicada pelo aumento de capacidade de cada trem.

$$P_{tcp} = 896 \times 37$$

$$P_{tcp} = \frac{33.152 \frac{\text{passageiros}}{\text{dia}}}{\text{sentido}}$$

$$\Delta_t = \frac{33152 - 19.800}{19.800} \times 100\%$$

$$\Delta_t = 67,43\%$$



Custos e material rodante disponível

- Há um processo de renovação da frota de trens urbanos no Brasil.
- Esse processo permite fazer com que haja TUEs sendo desativados que podem ser reaproveitados para uso como trens push-pull.
- É tecnicamente e economicamente viável.
- Isso já é feito no exterior e já foi feito no Brasil no passado

Material rodante	Custo unitário (R\$ milhões)	Custo por carro (R\$ milhões)	Custo por passageiro (R\$ mil)
Push-pull, adaptado	1,6	0,4	1,14
Push-pull, novo	18,4	4,6	61,3
TUE, novo	15	3,85	15
VLT, novo	7,5	3,75	18,75

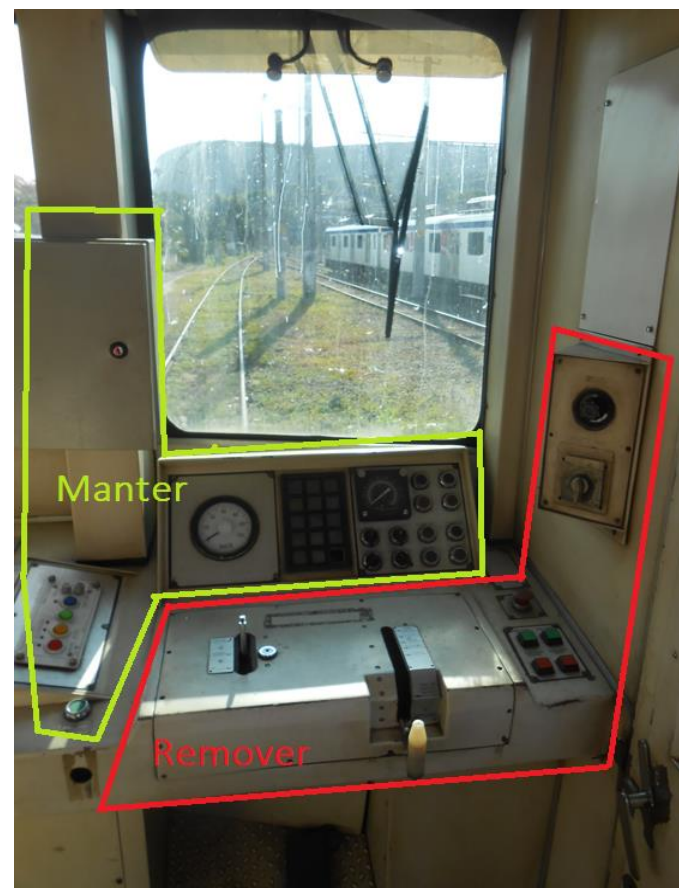
O processo de adaptação

- O processo de conversão de um TUE fora de atividade para uma unidade push-pull é simples. As principais ações para a adaptação seriam:
- Localização de trens desativados, mas ainda em condições de serem rebocados e de uma locomotiva;
- Adaptação de um dos carros do TUE para a operar rebocados;
- Instalação no carro controle de um controlador AAR27 para permitir o comando da locomotiva;
- Revisão geral dos componentes mecânicos e elétricos dos trens, em especial do sistema de freios;
- Rebitolamento caso seja utilizado como base um trem de bitola larga



O processo de adaptação

- A avaliação técnica resultou na escolha dos trens da série 400 da supervia como base para a adaptação.



O processo de adaptação

Os principais fatores para essa escolha foram os engates e jumpers padrão AAR, iguais para os trens da série e as locomotivas no ramal de vila Inhomirim

O ramal possui gabarito para receber trens de bitola larga sobre a bitola métrica

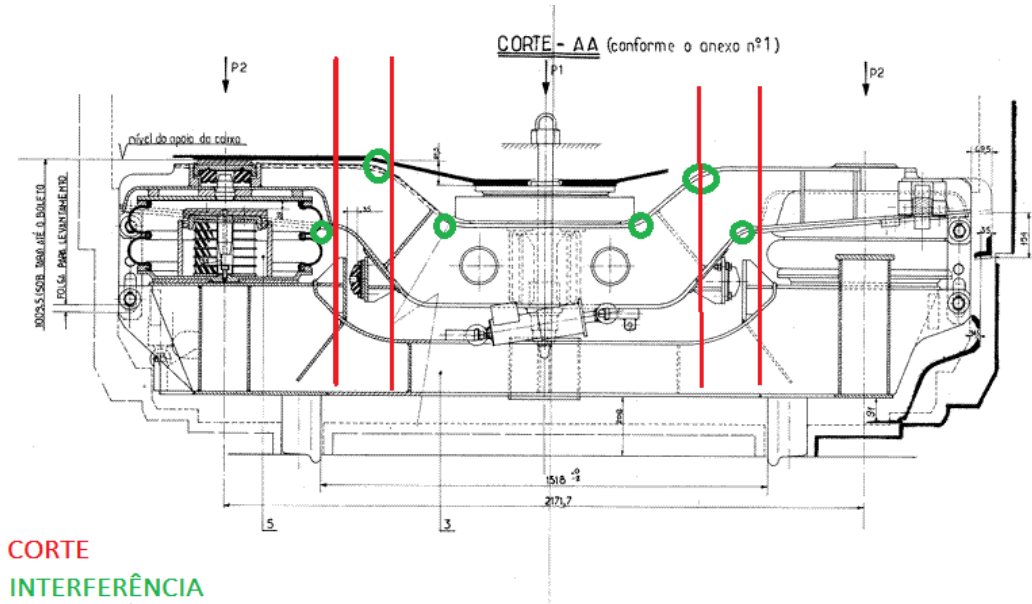
Os truques da série 400 permitem o rebitolamento

Os custos relacionados a aquisição transporte e reforma dos equipamentos.



O processo de adaptação

- O processo de rebitolamento, exige uma série de cuidados adicionais e insere custos
- Também é necessário rebaixar a altura dos engates devido as diferenças dos centro de gravidade entre a bitola larga e a estreita.
- Truques de suspensão a ar, salvo algumas poucas exceções, não permitem rebitolamento.



O processo de adaptação

- Truque Commonwealth, mais simples porém atende a necessidade
- Reposicionamento do Amparo de balanço
- Corte da travessa do truque.



Resultados Obtidos

Custo (R\$ mil)	Item
5,93	Aquisição e instalação do painel AAR105
291,20	Rebitolamento
1600,00	Reforma geral (caixa, o sistema de freios e de rodas, assim como a iluminação, etc...)
1897,13	TOTAL PARA UM TREM DE QUATRO CARROS

- Mesmo com o rebitolamento ainda é vantajosa a conversão de um TUE desativado em uma unidade push-pull:
- Um investimento em VLT seria 16,42 vezes maior que o da substituição das composições em operação por trens push-pull.
- Os juros sobre capital aplicado na aquisição das composições de VLT em um ano seria 1,23 vezes o total necessário para a conversão de uma composição para push-pull.



Resultados Obtidos

- Obras civis de modernização da via permanente também demandariam um investimento maior (US\$ 1,64 milhões / km).
- Independente do material rodante podem ser inevitáveis

Tipo de investimento	Atual	Push-pull	VLT	Via permanente
Número máximo de viagens por dia.	33	37	37	41
Quantidade máxima de passageiros por viagem	600	896	1.000	600
Quantidade máxima de passageiros por dia.	19.800	33.152	37.000	24.600
Ganho de capacidade máxima (%).	-	67,43	86,87	24,24
Custo total (R\$ milhões)	-	5,69	93,45	83,06
Custo relativo: $\frac{(\% \text{ de ganho})}{(\text{R\$ milhões})}$	-	11,85	0,93	0,29

Conclusão

- A operação push-pull tem potencial para melhorar o desempenho dos sistemas metropolitanos existentes no Brasil e também seria uma ferramenta de simplificação das operações de alguns trens.
- Confirma-se as premissas de flexibilidade de emprego deste tipo de trem, baixo custo de implantação,
- Deve-se realizar estudos adicionais para outros trechos
- RESSALVA: No longo prazo pode ser mais vantajoso o alargamento da via nos ramais de Vila Inhomirim e Guapimirim ao invés do rebitolamento dos trens push-pull. Caminho ainda mais eficiente que o investimento em VLT.



Obrigado!



- Agradecimentos a:
- AFPP
- Trilhos do Rio
- CBTU (GPAA, GDTU e Maceió-AL)
- Supervia (Japerí-RJ)

Operações ferroviárias tipo push-pull aplicadas a serviços de trens metropolitanos no Brasil

Victor de Almeida e Silva

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária