

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

**CORREÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO DE CURVAS REVERSAS DO ELEVADO DA
LINHA 1A DO METRÔRIO**

AUTORES

INTRODUÇÃO

A rede prioritária básica do metro do Rio de Janeiro, na sua concepção, compreendia as Linhas 1 indo da Tijuca para a Zona Sul e a Linha 2 indo de Pavuna à estação Carioca, no Centro, com estações de transferência na estação Estácio na terminal Carioca.

A Linha 2 teve sua construção realizada somente até a estação Estácio, onde havia o único ponto de intercessão com a Linha 1, no qual os passageiros poderiam fazer a transferência entre as linhas. Deste modo, o fluxo de passageiros da Linha 2 que seguia em direção à Zona

Sul gerava superlotação nos trens da Linha 1, principalmente após a estação Central, onde existe a integração com os trens urbanos da SuperVia.

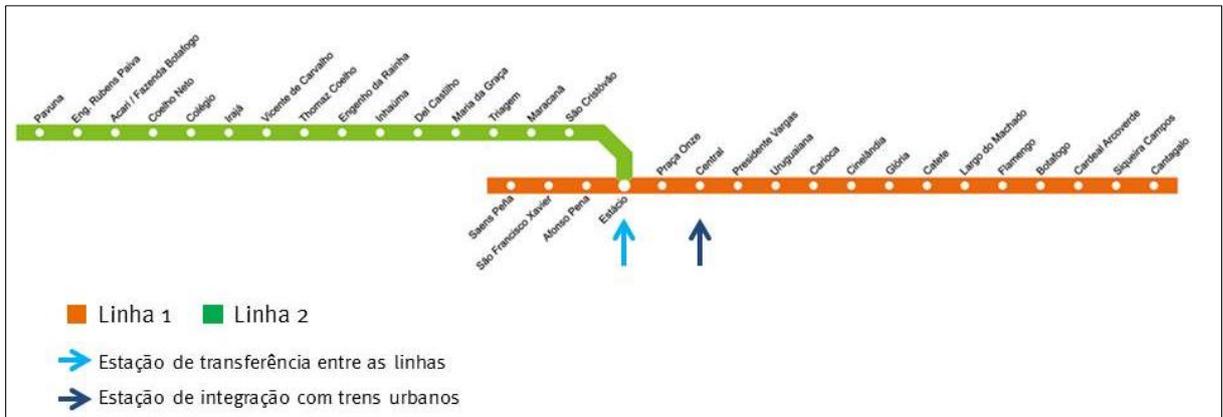


Figura 1 - Mapa da rede do MetrôRio antes da construção da Linha 1A

Como alternativa ao quadro apresentado e com o intuito de eliminar a transferência e consequentemente diminuir o tempo de viagem na integração das Linhas 1 e 2, a concessionária, em 2008, executou estudos considerando que o Centro de Manutenção do MetrôRio está localizado entre as duas linhas, com acesso direto à Linha 2 na estação São Cristóvão e à Linha 1 na estação Central. A partir desta situação, foi construída uma interligação entre a Linha 1 e a Linha 2 utilizando o Centro de Manutenção como meio de ligação. Entre o Centro de Manutenção e a estação São Cristóvão, foi construída a estação Cidade Nova, ligada por uma passarela à principal via do centro da cidade, atendendo assim a região no entorno do Centro de Manutenção.

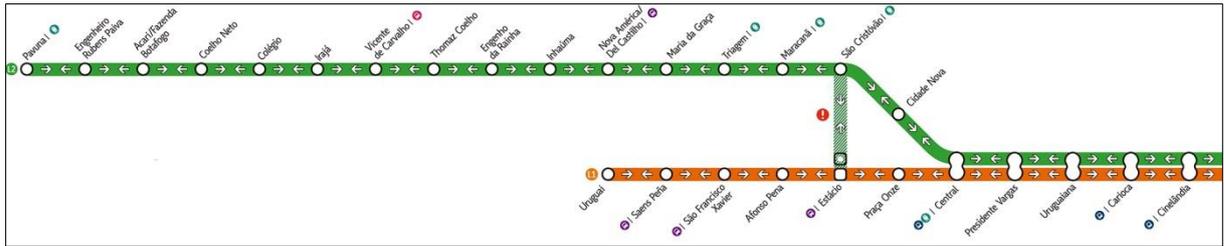


Figura 2 - Detalhe do mapa da rede atual do MetrôRio, mostrando as Linhas 1 e 2, a interligação na estação Estácio e a Linha 1A (estação Cidade Nova e ligação com a Linha 1 a partir da estação Central)

A ligação entre a estação São Cristóvão (Linha 2) e a estação Central (Linha 1) foi chamada de Linha 1A e possibilitou que trens de ambas as linhas passassem a trafegar no mesmo sentido, compartilhando os trilhos de forma intercalada entre as estações Central e Botafogo, originalmente da Linha 1. Deste modo, os passageiros que embarcam na Linha 2 passam a poder seguir viagem no mesmo trem até a estação Botafogo, sem necessidade de transferência. Esta configuração permanece em operação até o momento, durante os dias de semana. Durante o final de semana, a operação volta à sua configuração anterior, com a operação da Linha 2 entre as estações Pavuna e Estácio, onde é feita a transferência para a Linha 1.

Construção Linha 1A:

A ligação do Centro de Manutenção com a Linha 1 já foi concebida em duas vias não exigindo nenhuma intervenção civil.

A ligação do Centro de Manutenção com a Linha 2 era feita por intermédio de um elevado de manutenção em via singela conectada à via principal no sentido Zona Norte (Pavuna).

Para viabilizar a ligação sentido Centro, na estação Cidade Nova, e assim viabilizar o funcionamento da Linha 1A, foi necessária a construção de um novo elevado, já com características operacionais.

O elevado existente (Centro de Manutenção - Linha 2, sentido Zona Norte) foi construído em lastro, com dormentes bi bloco e trilhos interligados com talas de junção TJ-57 sem superelevação e para baixa velocidade. Para ser utilizado na operação comercial, passaria a ter via em radier de concreto com perfis horizontal e vertical que atendesse ao tráfego de passageiros, sendo os dormentes substituídos por dormentes LVT “Low Vibration Track”, utilizados com sucesso nas expansões do MetrôRio.

Adequações do elevado original CM-SCR:

Para a concepção da empreitada foi elaborado um novo projeto construtivo de traçado da via permanente para a nova situação de tráfego, preservando os limites preconizados de geometria, porém esquecendo a dinâmica dos trens.

O novo projeto de traçado preservou o perfil horizontal, porém alterou o perfil vertical, inserindo superelevações altas em curvas reversas de pequenos raios, sem tangente adequada entre elas - o que por si só já proporcionaria um alto desconforto ao passageiro. Além disso, a concretagem acelerada de grandes extensões, sem a retenção adequada, em época de temperaturas elevadas na cidade do Rio de Janeiro, levou a não conformidade da

via fazendo com que os trilhos perdessem a inclinação natural de 1/40, chegando, em vários trechos, a ficar com inclinação negativa, principalmente na região das reversas, o que culminou com uma abertura de bitola além do facultado em projeto.

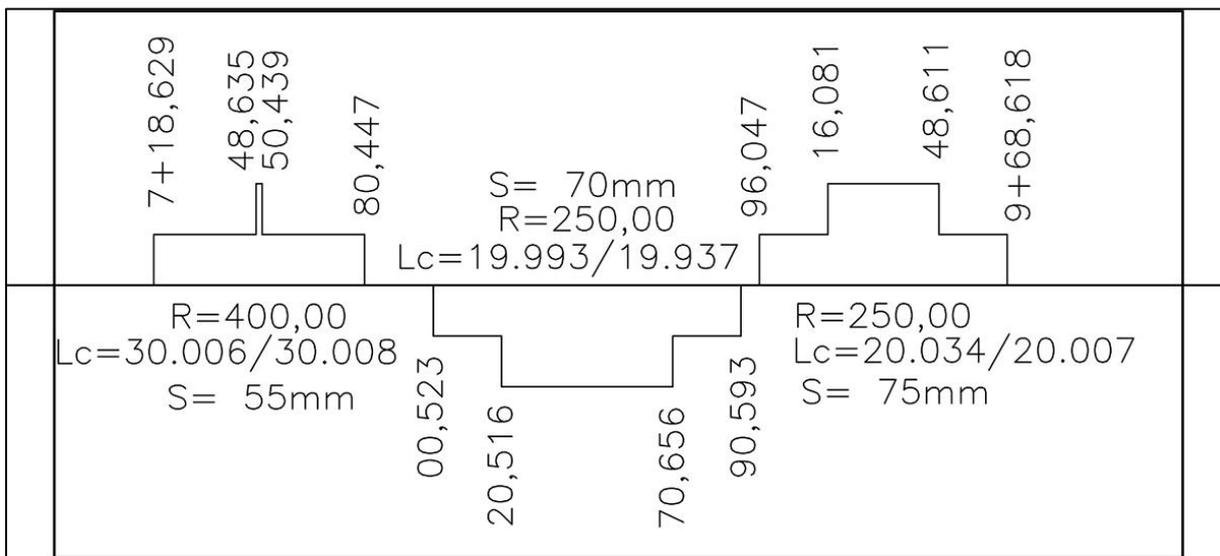


Figura 3 - Sinótico do trecho previsto a substituição dos dormentes LVT por fixação DFF 300

DIAGNÓSTICO

Os problemas advindos desta falha na execução foram diagnosticados através de inspeção visual e mais adiante pela passagem do carro controle:

- Abertura excessiva de bitola devido à inclinação negativa dos trilhos (Cant);
- Problemas de geometria:

- Twist - desvio no padrão de nivelamento transversal ou na superelevação dos trilhos

detectado entre as curvas 308 a 312 de até 70mm, o limite de segurança máximo admitido é

de 32mm e o limite de manutenção máximo é de 25mm conforme norma *ABNT NBR 16387:2016, Via férrea — Classificação de vias;*

- Inclinação transversal dos trilhos não conforme - o padrão MetrôRio é 1/40;

- Superelevação inadequada no trecho das curvas reversas.

- Desconforto para os clientes na passagem dos trens pelas curvas reversas devido à velocidade mais elevada, o que aumenta a sensação da mudança de direcionamento entre as curvas e um “solavanco”;
- Desgaste acentuado de rodas, trilhos, dormentes, elemento isolante da fixação e palmilhas de amortecimento;



Figura 4 - Quebra de fixação e palmilhas expulsas

- Quebra excessiva de parafusos da fixação;
- Esmagamento e expulsão das palmilhas;
- Excesso de manutenção no sistema;

- Desnivelamento da posição da sapata coletora de energia em relação ao terceiro trilho;
- Risco de descarrilamento;
- Energia: fuga de corrente de retorno de tração para estrutura do viaduto (possível risco);
- Sinalização: falsa ocupação (possível risco).

O desgaste precoce dos dormentes e das fixações somado ao erro do Cant induz a um aumento de bitola anormal não considerado no projeto do sistema.

Neste trecho do elevado, a bitola medida pelo carro controle estava com 1648 mm.

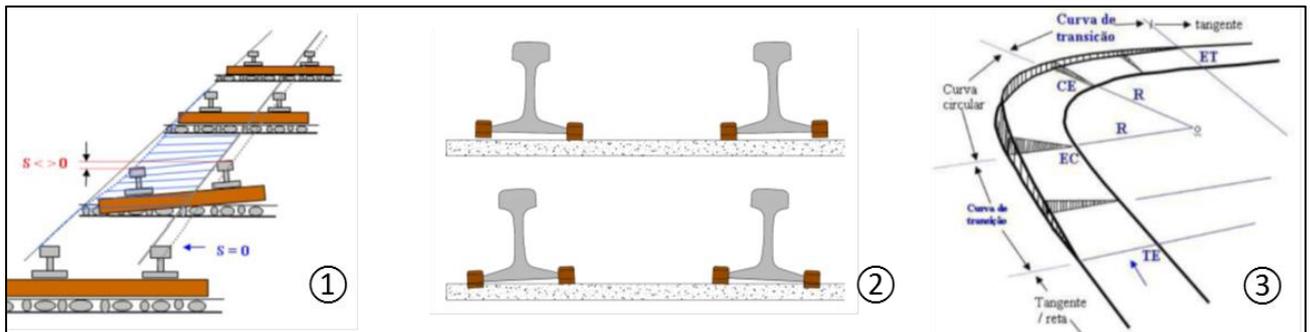


Figura 5 - Twist (1), Cant (2) e Superelevação (3)

Causas dos problemas encontrados:

A via foi construída de maneira rápida, sem o devido controle e sem considerar a temperatura ambiente, o que propiciou o aparecimento dos graves problemas de geometria já citados.

O projeto de via considerou uma rampa de superelevação com variação acentuada, o que no caso das curvas reversas existentes com raio de 250m, sem tangente de comprimento adequado entre elas para garantir a sensação de conforto do cliente.

Soluções propostas:

Após um longo período de discussão com a construtora, ficamos com o desafio de encontrar uma solução junto a um consultor da construtora para solucionar os problemas de conforto e segurança. Esta solução passaria pela reforma do viaduto, com a quebra completa do concreto do radier e a execução de uma nova concretagem da via permanente, o que impactaria a ter-se vários meses com a Linha 1A paralisada com relação à operação com passageiros.

Diante da impossibilidade de interrupção operacional, foi sugerida uma solução paliativa de se fabricar e assentar palmilhas elásticas customizadas inclinadas sob os patins dos trilhos. Nessa solução foram medidas as inclinações laterais de cada fiada de trilhos, em todos os blocos de dormentes LVT e este levantamento levou à fabricação de três modelos de palmilhas com inclinações diferentes para adequar cada dormente com inclinação não

conforme, que deixou os trilhos com inclinações relativamente próximas a 1/40 , por conseguinte trazendo para as bitolas de projeto.

Entretanto esta solução tornou-se inconsistente, pois as palmilhas não se sustentaram (sofriam deformações e perda de altura precocemente) sob os trilhos, levando à instabilidade da via com desconforto dos passageiros, riscos de descarrilamentos, substituição prematura de trilhos, dormentes e fixações visto que quase ao serem assentados com os “cant” negativos em alguns trechos a via nova já teria bitola próxima ao limite máximo de utilização.



Figura 6 - Palmilhas elásticas customizadas

Solução do MetrôRio:

Em face à frustração com a solução adotada, nos vimos com o desafio de achar uma solução que pudesse ser executada aproveitando as “janelas” dos finais de semana, quando a Linha 1A não é utilizada em operação comercial, ficando disponível à manutenção, com a garantia da linha estar liberada ao tráfego de passageiros nas manhãs das segundas feiras.

Depois de intensas pesquisas e *benchmarking* com fabricantes de dormentes e sistemas de fixações diretas e com o *know how* em assentamento de AMVs diretamente na laje de concreto sem utilização de dormentes, na zona de manobras do trecho em túnel da nossa Linha 1, entre as estações Saens Peña e Uruguai e da via Z do terminal da Linha 2 na estação Botafogo, demos início ao processo de substituição dos dormentes LVT por sistema de fixação DFF 300 da VOSSLOH.

Contratamos empresa que atua em serviços no ramo ferroviário para execução de todo o serviço, estando incluído no escopo a contratação de projetista para desenvolver o projeto estrutural com avaliação do concreto do radier existente, cálculo da armação estrutural, para inserção dentro dos alvéolos, necessária para resistir aos esforços laterais e longitudinais existentes, definição do graute mais adequado para a janela de execução, tempo de cura e esforços existentes. Também foi contratada empresa especializada que atua no segmento de medições em engenharia e executa projetos ferroviários, com a finalidade de fazer todo o levantamento topográfico prévio para avaliar e pontuar os ajustes e as correções necessárias, o controle topográfico durante o serviço para liberar a concretagem da via com os parâmetros geométricos desejados e ainda em parceria desenvolveu uma régua especial de medir bitola pelo lado externo do boleto, devido ao desgaste do trilho, que deu um grande ganho de tempo, pois para usar uma régua bitoladora tradicional seria necessário medir as bitolas a cada dormente e montar uma planilha que conciliasse bitola x cant com equivalência de $1600 \times 1/40$ em caso de trilho novo, ou substituir todos os trilhos, por trilhos novos, o que implicaria em execução de soldas aluminotérmicas e aumento de tempo de execução.

Método de Execução

O método de execução escolhido para execução da troca dos dormentes LVT pelo sistema DFF300 foi o TOP DOWN tradicionalmente usado em vias com radier tendo as seguintes atividades:

- Preparação, manobra de energia para desenergizar o trecho, segregação do trecho e liberação da via para execução;
- Carregamento dos equipamentos, transporte da equipe e material para o local de instalação e preparação para execução com colocação dos EPCs;
- Colocação das réguas bitoladoras e de elevação da via (ajuste de altimetria);
- Levantamento da via com macacos até acima dos alvéolos no radier e retirada dos dormentes e colocação ao lado da via;
- Apicoamento do concreto interno e furação do alvéolo para instalação da armação estrutural com grampos fixados com trava química;

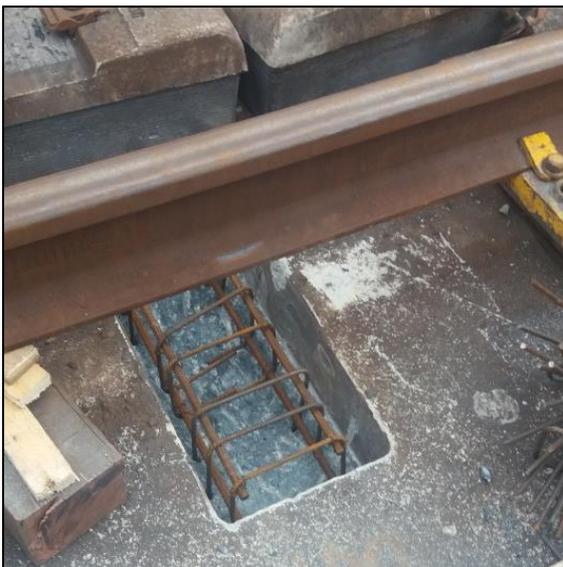


Figura 8 - Apicoamento e colocação da armação



Figura 9 - Armadura montada e fixada com grampo

- Montagem das fixações DFF 300 posicionadas sobre os alvéolos;
- Descida da Via;

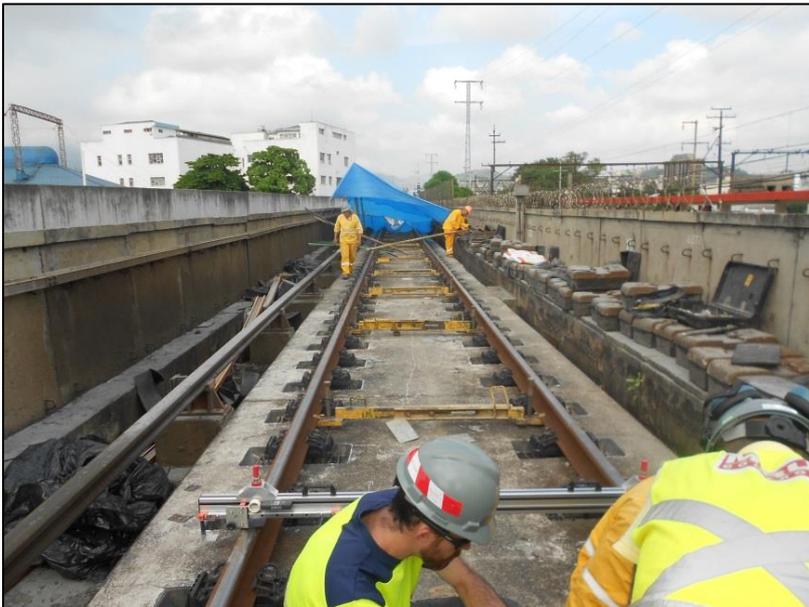


Figura 10 - Via abaixada com régulas de travamento e fixações montadas

- Correção da geometria com alinhamento através de estação total, ajuste das escoras laterais apoiadas no patim do trilho para manutenção da bitola que pode alterar devido à variação térmica por movimentação do dormente e dos tirantes de travamento da via apoiado nas laterais da via para evitar o serpenteamento da mesma devido à dilatação do trilho, nivelamento e verificação dos parâmetros utilizando réguas especiais para medição de bitola, superelevação e inclinação do trilho (Cant);



Figura 11 - Réguas para medição de bitola e de Cant



Figura 12 - Leitura de medição do Cant



Figura 13 - Detalhe das escoras fixas no patim para garantir bitola e inclinação durante cura do graute

- Concretagem com a utilização de graute de cura rápida aditivado com fibra para eliminar trincas;

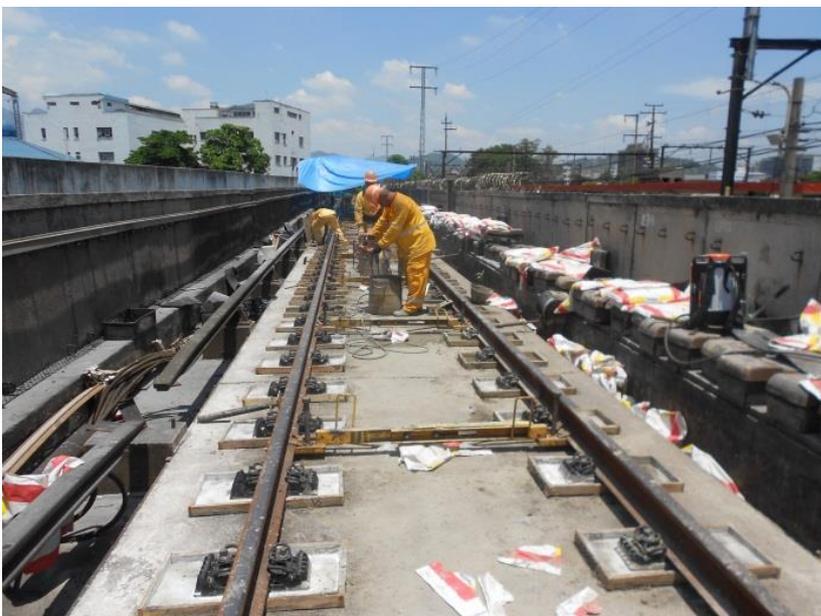


Figura 14 - Concretagem da via

- Hidratação do concreto para cura.

Após o tempo de cura no dia seguinte:

- Desmontagem do canteiro de trabalho com a retirada da manta de hidratação para cura, das amarrações da via, das régua bitoladoras e de fixação da via;
- Aplicação do torque final nas fixações;
- Limpeza da área e recolhimento dos restos dos materiais utilizados e dos dormentes que saíram da via;
- Retirada da segregação da via, normalização da energia do trecho e liberação da via para operação.

Ao final do ciclo de execução deste trabalho, o objetivo foi de dia a dia ir conseguindo melhorias de métodos em cada etapa, para alcançar um alto índice de produtividade, a ponto de no primeiro final de semana ter-se executado 10 metros lineares, chegando nos últimos dias a produtividade de 60 metros lineares, sem nenhum prejuízo a qualidade do serviço.

Desafios e Interferências

- Foi necessária ampla negociação junto às áreas de operação e manutenção pra conseguir a interdição do trecho nos finais de semana, sem impedir o transito de trens e veículos auxiliares pelo outro viaduto de acesso a Linha 2, devido à

necessidade do corte de energia para trabalho no trecho e possíveis interferências na sinalização operacional devido à ocupação dos circuitos de via.

- Encaixar no projeto a correção da grade da via entre as curvas reversas. Para incluir tangente de 20m sem superelevação, foi considerado utilizar parte das curvas de transição para atingir o objetivo.
- Serviço a céu aberto, suscetível a chuvas, o que pode prejudicar o desempenho do graute, criando a necessidade de cobrir com lona o canteiro e que trouxe como melhoria a queda da temperatura do concreto, que facilitou o trabalho considerando a faixa de trabalho do graute.



Figura 15 - Via coberta em dia de chuva

- Um desafio no processo foi garantir a qualidade do graute misturado no campo a fim de atingir os resultados esperados onde a quantidade de água utilizada, o tempo de mistura e concretagem influenciariam totalmente no resultado e dureza do graute esperados, foram utilizadas duas bateadeiras industriais, um recipiente graduado e dois tambores para bater, homogeneizar a mistura e vaziar no tempo certo além de dar rapidez ao processo. Em caso de falha na preparação do graute não conseguiríamos atingir o FCK esperado do concreto o que impactaria em não liberarmos no domingo o trecho para operação.
- Um grande desafio foi conciliar o perfil de via nas fronteiras entre um trecho reparado com o subsequente a ser corrigido na semana seguinte, pois foram executados a nova altimetria, o nivelamento e o alinhamento. Como artifício, colocamos palmilhas microcelulares sob os dormentes LVT da fronteira, para conciliar a diferença de altura dos blocos para correção da altimetria, adequação das fixações para alinhamento e escoras sob o patim do trilho para a inclinação.

Cronograma do Projeto

Tabela 1

Atividade	Início	Término
Fase 1 - Concepção	25/03/2016	07/04/2016
Fase 2 - Detalhamento / Especificação	08/04/2016	29/06/2016
Fase 3 - Contratação	08/04/2016	09/09/2016
Fase 4 - Implementação	30/05/2016	21/01/2017
Fase 5 - Conclusão	23/01/2017	22/03/2017

Custo do Projeto

Custo total de R\$ 1.062.450 para 350 metros de via, num total de 934 fixações DFF 300.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Benefícios esperados

- Redução dos desgastes nos componentes de via
- Melhoria no conforto ao usuário
- Segurança na Operação com a eliminação do risco de descarrilamento
- Redução de custo de manutenção e degradação operacional
- Melhoria no desgaste dos trilhos pois devido a inclinação errada mudou a posição do contato rodatrilho ocasionando o desgaste irregular do trilho.
- Conseguimos atingir excelentes resultados nas medições de bitola (variação máxima de 1mm) e cant (variação máxima de 0,03mm).
- Os empenos ficaram dentro das tolerâncias preconizadas.

Resultados alcançados

- No curto prazo já percebemos um “ajuste” no trilho que começou a desgastar no local correto, as palmilhas pararam de escorregar e sair de sua posição de trabalho.

- Conversando com condutores dos trens sobre o conforto, eles informaram que perceberam o fim do solavanco na curva e um rodar mais suave dos trens.

Lições Aprendidas

- Trabalho de topografia concomitante com concretagem. No início do projeto se executava o levantamento topográfico em duas fases, sendo a primeira de bitola e "cant" e a segunda de alinhamento e nivelamento, para depois se iniciar a concretagem das fixações, ao longo da via, isto apesar de correto demandava um tempo grande para a conclusão do ciclo de trabalho diário. Modificamos para executar a primeira etapa (bitola e "cant"), indo até a metade do trecho de via, em seguida voltando ao início e fazendo a segunda etapa, indo até a metade do percurso. Nesse momento já começávamos a concretagem, concomitantemente com a continuação da topografia. Este método reduziu consideravelmente o tempo de trabalho
- Pouca quantidade de ferramentas disponíveis ao trabalho. A empreiteira estava realizando furações no radier de concreto para a aplicação das ferragens, quando a única broca disponível quebrou e não havia outra broca reserva, sendo necessário comprar outra em substituição. Devemos orientar, acompanhar e fiscalizar para que as empreiteiras sempre tenham disponíveis pelo menos um exemplar de ferramentas reserva.

CONCLUSÕES

O método desenvolvido foi inovador, pois conseguimos modificar o tipo de sistema de apoio dos trilhos de dormente para fixação direta em radier sem interromper a operação comercial, é um sistema de fixação mais moderno e com melhores resultados no que se refere ao nível de durabilidade e menos manutenção.

O desenvolvimento de régua para medição direta de bitola em trilho gasto e da régua para medição direta da inclinação do trilho na montagem de vias novas diminuiu muito o tempo de execução do levantamento e proporcionou economia por não ser necessária a troca dos trilhos em meia vida.

Este trabalho vai servir de laboratório para a possível expansão deste sistema para a Linha 1 do metro dotada de dormentes bi bloco com cantoneira que apresentam elevado índice de falhas além de ser um projeto da década de 60. Devido às características do sistema e às janelas de manutenção da Linha 1 será necessário desenvolver e aprofundar o método utilizado.

O gráfico abaixo demonstra o sucesso da intervenção na via, diminuindo a superelevação no trecho e readequando a tangente entre as curvas reversas que minimizaram a sensação de desconforto pela mudança abrupta de direção nas reversas.

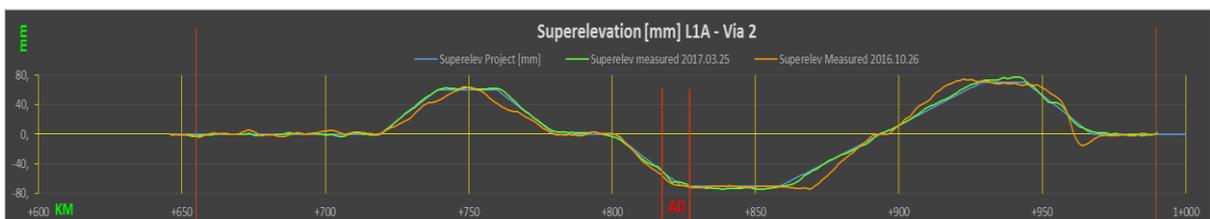


Figura 16 - Gráfico comparativo das superelevações antes e depois da intervenção

As Built do projeto

Após intervenção, a posição das vias foi verificada com sistema Amberg GRP1000, onde sensores e inclinômetros captam dados relativos aos parâmetros mecânicos da via (bitola, superelevação) e posição absoluta em relação ao projeto através de estações totais motorizadas de alta precisão robóticas Leica TS30. O tratamento dos dados foi realizado com o software Amberg Rail 3.1.2 .

Fotos de situações do projeto:



Figura 17 - Comparação entre antes e depois da instalação das fixações



Figura 18 - Fronteira entre as adequações dos sistemas



Figura 19 - Visão geral da via no término do projeto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fontes:

As instruções relativas às restrições de traçado em curvas reversas foram obtidas da Tese de Especialidade da Engenheira Helena Hilarión, tutorada pelo Prof. Doutor Andrés Lopez Pita, doutor em ferrovias, do departamento de Infraestruturas de transporte e território da Universidade Politécnica da Catalunha.

Definição do gabarito cinemático e limite do material rodante – metrô

SOFRETU – ETEP, Dezembro de 1976.

As normas aplicáveis relativas às medições realizadas neste projeto são:

EN 13848-4 - aplicável ao trolley Amberg GRP1000

ISO 17123-3 – aplicável a medidas de ângulos para equipamentos geodésicos

ISO 17123-4 – aplicável a medidas de distâncias para equipamentos geodésicos

Norma ABNT NBR 16387:2016, Via férrea — Classificação de vias:

Torção (Twist): Diferença no nível transversal entre 2 pontos quaisquer distantes 10m dentro

da espiral: Lim. Manutenção: 25mm, Lim. Segurança: 32mm