



MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO PARA DETERMINAÇÃO DE FLECHAS NA MÁQUINA DE BIENFAIT.

CAVALCANTI, Alessandro Sarmiento¹;
SOUZA FILHO, Robson Justino³;
SANTOS, Elane Cavalcanti³;
SANTOS, Roseneide Honorato²;

¹ Prof. Dr. Engenharia Civil - Centro Universitário CESMAC

² Prof. Me. Engenharia Civil - Centro Universitário CESMAC.

³ Estudante Engenharia Civil - Centro Universitário CESMAC.

PROFESSOR RESPONSÁVEL: Alessandro Sarmiento Cavalcanti

Resumo. Este estudo busca caracterizar matematicamente e fisicamente a máquina de Bienfait fazendo uso da mecânica empregada para a correção de desvio no alinhamento horizontal em trechos de curvas, para o seu desenvolvimento, utiliza-se um conjunto de dados relativos a alguns trechos da linha ferroviária situada na região de Satuba – Alagoas. Sendo necessário, a obtenção de uma equação matemática que descreva o comportamento desalinhado deste trecho para torná-lo alinhado após ajustes mecânicos.

Palavras-chave: Máquina de Bienfait, Flecha, Estacas, Trilhos e, Alinhamento.

Desde os primórdios do século passado o modal ferroviário, se destaca como meio transporte economicamente de baixo custo operacional, apesar do alto custo de implantação, tem se mostrado muito eficiente. Nesse contexto como em todo o modal, a manutenção deve ser constante a fim de obter melhor performance de operação. Em relação aos trilhos, que apresentam desalinhamento causado pelas mais diversas fontes.

“O objetivo da conservação da via é manter o seu traçado em planta e perfil, sem defeitos que prejudiquem o tráfego, mantendo-se uma plataforma estável e bem drenada, um lastro limpo, um alinhamento e nivelamento perfeitos com curvas bem puxadas e superelevação perfeita.” (BRINA, APUD AMARAL A.; 1991).

De acordo com Fonseca Neto (1986), o traçado geométrico, especialmente as características de rampas e curvas em uma ferrovia, vem a ser um fator determinante na performance dos trens, sendo necessário um estudo intenso acerca de seu comprimento, velocidade e potência, estabelecendo características físicas da linha e dessa forma, os padrões de segurança e nível de serviço da mesma.

A máquina de Bienfait, tem papel fundamental, pois auxilia nessas correções (PATENTE NO. US2485810), como diz o próprio autor textualmente no texto da sua patente, trilhos de trens, incluem retas e curvas. A curva é, teoricamente, constituída por uma porção circular, caracterizada por um raio R , conectada a linhas retas adjacentes através de duas parábolas ou linhas de transição gradual, onde o raio nas retas é infinito e decai para R nas porções circulares.

Em decorrência da necessidade de propiciar melhores condições de tráfego em trechos de curvatura contidos durante a malha ferroviária, faz-se necessário a utilização de um método eficiente, capaz de realizar correções geométricas ao longo da via, efetuando o ajustamento das curvas, de forma a executar um puxamento nas linhas através da utilização do método de flechas para alinhamento. De acordo com o Borges Neto (2017), este procedimento é realizado com base no Teorema dos Três Pontos, sendo executado através da máquina de Bienfait, onde os valores das flechas são marcados na escala do aparelho, de modo a mover as referências móveis. Desta forma, os valores atribuídos aos comprimentos de transição e ao raio de curvatura tornam-se valores de flechas para a máquina, executando a devida correção.

Nas retas, torna-se menos complexo o trabalho de alinhamento, mas nas curvas mesmo o melhor especialista observador, torna-se incapaz de detectar ou corrigir defeitos na curvatura que produza uma perda de qualidade no trabalho de transporte ou na curvatura. Neste processo, é utilizado um teorema fundamental da geometria aplicado ao um arco de circunferência, distâncias iguais correspondem a cordas iguais, são as distâncias máximas entre a curva e as cordas.

O método convencional consiste na medida de pontos equidistantes ao longo de um dos trilhos do trem e faz-se a medida de cada ponto equidistante que corresponde a uma corda, os valores das flechas (f_1 , f_2 , f_3 , f_4 , etc.) são medidas, sendo assim, obtido um diagrama da flecha em função da estaca, se a curva é perfeita, evoluindo do zero nas retas, aumenta de modo regular nas curvas. Ao longo do tempo, o peso e a velocidade dos trens e pelo fato de que os trilhos não são necessariamente fixos ao solo, ocorrem deformações que precisam ser regularmente corrigidas.

Por muito tempo, engenheiros desenvolveram métodos para deduzir essas distâncias medidas para determinar o formato correto das curvas e esses métodos não diferem muito uns dos outros, e tem obtidos bons resultados, mas, são complicados e necessitam de cálculos complexos, sem excluir as torções, e requer um bom grau de experiência para a correta aplicação da técnica. Esses métodos de cálculo são baseados no mesmo princípio elementar.

Algumas tentativas de criar uma equação que fosse capaz de descrever o comportamento dos trilhos em curvas que não apresentam desequilíbrio de alturas entre a parte externa e interna do trilho foram criadas como por exemplo (PATENTE NO. US6634112).

Carr, Diaz e Bloom (2001) estudaram um método de medida da geometria de trilhos de trens. Nessa patente, descrevem as ferrovias e usam uma grande quantidade de padrões de segurança de trilhos para proteger os trabalhadores ferroviários, o meio ambiente, a propriedade privada, e evitar descarrilamentos. Esses padrões de segurança em geral exigem medições de geometria de trilha para dentro de certo intervalo para uma determinada classe de trilha. Os limites de velocidade no trilho aumentam o número de classe, exigindo especificações mais rigorosas a ser encontradas.

Os parâmetros básicos da geometria incluem o calibre, a distância entre os trilhos e o nível cruzado, a diferença em altura dos trilhos. A curvatura é a diferença entre dois lugares a 100 pés de distância, expressos em graus. Dois parâmetros adicionais são o alinhamento e o perfil. No campo da inspeção ferroviária, o alinhamento da trilha e o perfil são medidos pelo “off-set” especificado do comprimento da corda média (MCO), medidos como o deslocamento intermediário (MCO) de um comprimento específico da corda em um ponto de contato conhecido no trilho a ser medido. Os pontos finais da corda estão no trilho e uma medida é tomada no centro da corda, os valores do alinhamento e perfil do MCO são tomados no lateral (horizontal) e vertical, respectivamente. Os comprimentos da corda comum são trinta e um, sessenta dois e cem e vinte e quatro pés, com os comprimentos de corda mais longos sendo usados em classes mais altas de trilha.

Os carros de geometria de trilha usaram um método inercial para calcular o perfil e o alinhamento vertical e lateral com dados de aceleração individuais, referenciados a cada trilho individualmente, podem ser usados para produzir curvas espaciais locais. Dos dados espaciais da curva, valores de MCO de qualquer comprimento de corda desejado podem ser calculados. Infelizmente, as médias inerciais não são uma opção quando medidos estaticamente os valores de MCO em campo.

A prática aceita é esticar uma corda com um desejado comprimento entre alguns pontos no trilho e medir a distância do centro da corda ao trilho, nos planos vertical e lateral. Embora não seja extremamente acurado, este método dá resultados aceitáveis, quando usadas cordas com um pé de 31 pés. Aumentos recentes na velocidade dos trilhos levaram aos padrões de segurança que exigem a medição de 62 e 124 pés. O uso de gabaritos para medir esses comprimentos de corda fornece dados bastante imprecisos pelos desalinhamentos e torções na corda sendo ambos grandes influenciadores no alinhamento e perfil.

Equação do modelo proposto para a máquina de Bienfait.

Para obter uma solução que seja contínua e diferenciável, em substituição ao modelo mecânico anterior onde existiam pontos em que a derivada não era contínua e a função não podia ser resolvida de maneira analítica, isso explica o motivo pelo qual a máquina de Bienfait utiliza elementos finitos para a correção das vias férreas. O princípio físico utilizado foi o Teorema da Variação da Energia Cinética – Trabalho, quando se espera que o comportamento real do trem ao longo da curva seja quase-estacionário, pois percorre o trecho da curva com velocidade reduzida, assim, as velocidades variarão muito pouco, portanto, podem ser consideradas em primeira aproximação constantes, e a variação da energia cinética será nula, sendo o somatório dos trabalhos realizados em cada elemento da curva, ou seja, o trabalho resultante nulo.

Os elementos da equação são inseridos a partir de características das curvas de calibração definidas como padrão para a via. Contendo o parâmetro a , como a flecha de projeto da via, b , como o termo de inclinação dos trechos inicial e final da curva, e , como a estaca avaliada, e_1 , como a estaca inicial e, e_2 , como a estaca final, assim:

$$f(x) = \frac{a}{1 + e^{b*(e-e_1)}} + \frac{a}{1 + e^{b*(e-e_1)}} - a \quad (1)$$

As figuras mostradas a seguir, estabelecem uma comparação inicial entre o modelo proposto inicialmente, onde as equações eram pontuais como descrito nos artigos que descrevem o dispositivo, ou seja, existe um vínculo mecânico entre cada ponto da máquina de Bienfait, onde se espera que o comportamento adequado, aceito até os dias atuais, seja a curva corretiva atual, porém, este modelo não havia continuidade e a continuidade, não era necessária pois, as correções são puramente mecânicas.

A proposta deste estudo é uma equação paramétrica que mostre o comportamento contínuo da curva, o que de fato corrobora com a prática de trabalho, sendo possível, caracterizar o comportamento real da curva matematicamente. De fato, pode-se observar na forma simplificada desta equação (2) que a ideia proposta por Carl et al. (2001) e Bienfait (1942), de que o alinhamento deve ser feito em relação a corda média do trilho. E que a relação entre os aumentos/reduções entre pontos vizinhos da máquina de Bienfait deve ser sempre com a metade das reduções/aumentos nos seus respectivos vizinhos mais próximos, respectivamente.

$$f(x) = \frac{a * (1 - e^{\frac{2*c*(e_1+e_2)}{2}})}{1 + e^{b*(e-e_1)} + e^{b*(e-e_2)} + e^{\frac{2*c*(e_1+e_2)}{2}}} \quad (2)$$

Esta equação é relativa ao termo tracejado nas figuras abaixo, que mostra ser uma boa escolha para expressar o comportamento adequado ao processo físico relacionado a teoria das flechas e estacas. E estabelecendo uma melhoria por definir uma função contínua e diferenciável que descreve a máquina de Bienfait em relação ao método de diferenças finitas utilizado atualmente.

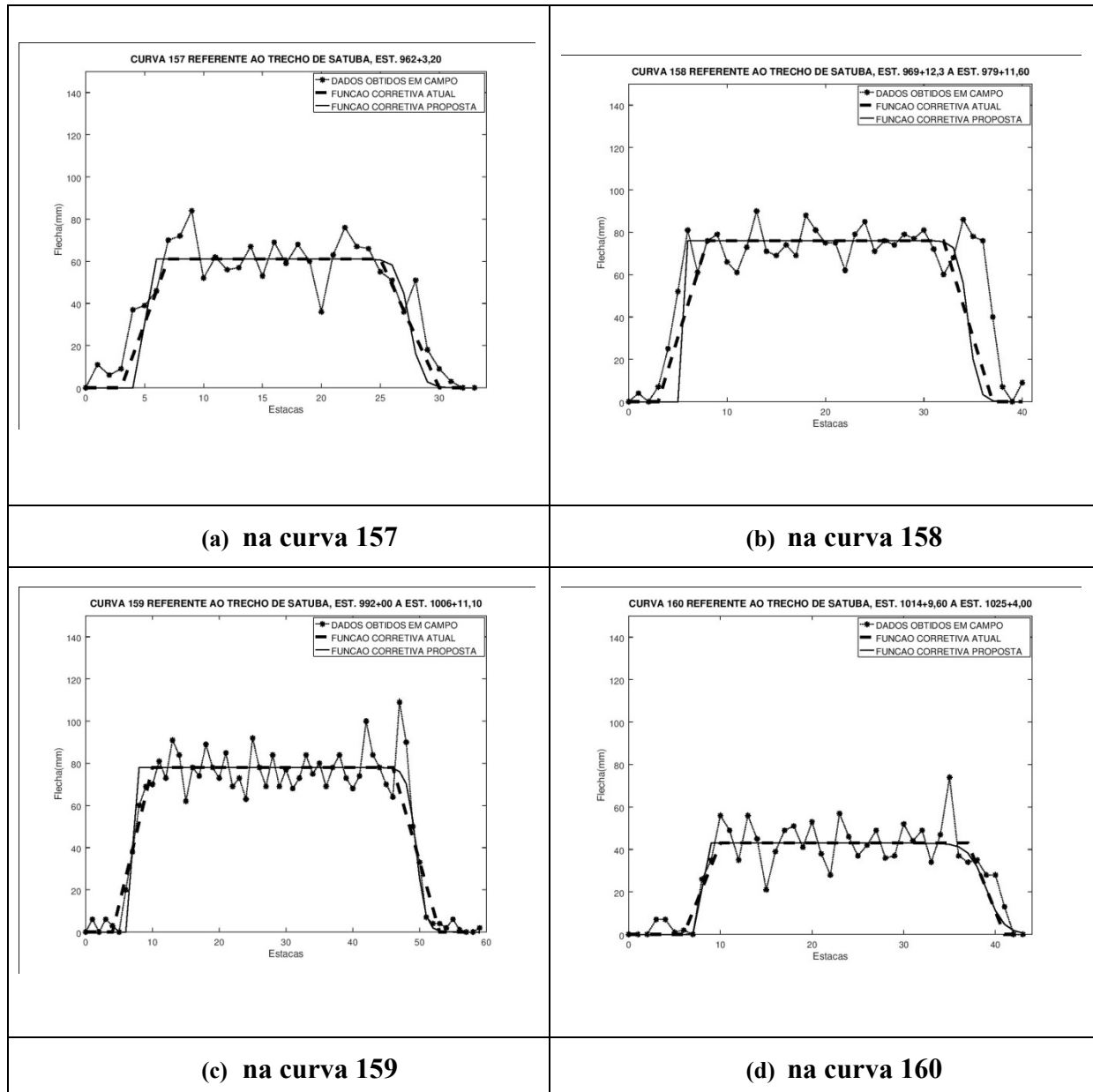


Figura 1. Variação da flecha ao longo das estacas localizadas no trecho de Satuba nas curvas 157, 158, 159 e 160.

De fato, conseguiu-se obter uma equação que expressa matematicamente a curva com acurácia e consegue descrever características que anteriormente só eram observadas do ponto de vista da mecânica ferroviária. Deseja-se adaptar os dados com as imperfeições das curvas para que a equação possa propor as modificações mecânicas de correção que serão adicionadas as figuras acima em posterior pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao centro Universitário CESMAC pelo incentivo Intelectual através da dedicação do Corpo Docente e Administrativo.

A Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU, oriunda da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), pelo conhecimento adquirido e pelo fornecimento de dados.

REFERÊNCIAS

Louis Bienfait, (Patente no. US2485810. APPARATUS FOR DETERMINING THE CORRECT TRACING OF RAILWAY TRACKS Chambly, France Application October 21, 1946, Serial No. 704,649 In France May 12, 1942 Section 1, Public Law 690, August 8, 1946 Patent expires May 12, 1962 4 Claims. (C1. 33—1)).

Carr, Diaz e Bloom (Patente no. US6634112. METHOD AND APPARATUS FOR TRACK GEOMETRY MEASUREMENT, US. Provisional Application No. 60/274,616 filled Mar. 12, 2001.).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

AMARAL, A., Um Método Para Decisão de Concessão de Faixas de Trabalho em Ferrovias de Linha Singela, Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1991.

FONSECA NETO, Raul; INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. Modelo de planejamento e otimização ferroviário, 1986. 18p, il. Dissertação (Mestrado).

BORGES NETO, Camilo; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Departamento de Transportes. Manual didático de ferrovias, 2017.