

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

JORGE WASHINGTON DE OLIVEIRA

Modernização e adaptação da via férrea para
permitir a circulação de trens pesados e o em-
prêgo de altas velocidades. Condições técnicas

Trabalho apresentado ao II Congresso
Geral de Transportes, Porto Alegre.



Publicação n. 14

SÃO CARLOS
ESCOLA DE ENGENHARIA

1957

AGRADECIMENTOS

Aos alunos do 4º ano do Curso de Engenharia Civil – opção Vias de Comunicação e Transporte – pela revisão dos originais e confecção das figuras do trabalho enviado ao II Congresso Geral de Transportes.

Ao aluno Affonso Celso Abs Agostinho, pela valiosa colaboração na revisão e confecção das figuras desta impressão.

Aos secretários, datilógrafos e funcionários do Serviço de Publicações desta Escola, que, com perfeição e cuidado, contribuíram para a apresentação deste trabalho.

São Carlos, outubro de 1956.

Jorge Washington de Oliveira

ÍNDICE

	pág.
Pesquisa em tórno da circulação dos trens em curva.	4
Descrição, com o emprêgo de coordenadas intrínsecas, do movimento de um ponto material em trajetória curvilínea.	4
Reposição dos trilhos em posição ótima para circulação dos trens em curvas.	19
O diagrama de flechas.	19
Operações de campo.	19
Operações de escritório.	21
Escolha prévia do comprimento da corda.	23
Especificações para melhoria de curvas existentes	26
Condições para melhoria do apoio compatível com altas velocidades.	30
Continuidade da superfície de rolamento.	34
Conclusões.	35
Bibliografia.	37
Parecer do relator.	38

SEGUNDO CONGRESSO GERAL DE TRANSPORTES

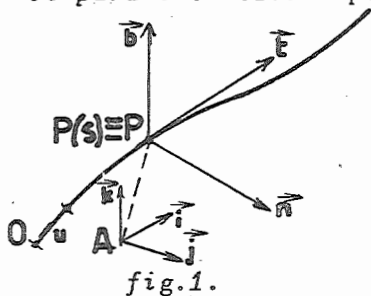
2a. Comissão - TRANSPORTES FERROVIÁRIOS - II - VIAS E OBRAS

- 9 - MODERNIZAÇÃO E ADAPTAÇÃO DA VIA FÉRREA PARA PERMITIR A CIRCULAÇÃO DE TRENS PESADOS E O EMPRÊGO DE ALTAS VELOCIDADES - CONDIÇÕES TÉCNICAS.

A Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como a mais nova das Escolas de Engenharia do Brasil, atendendo ao honroso convite que lhe foi dirigido pela Sociedade de Engenharia do Rio Grande do Sul, comparece ao II. Congresso Geral de Transportes, de Porto Alegre, para ainda que modestamente, com uma única monografia referente ao ítem 9º da 2ª Comissão, colaborar na discussão dos problemas de transportes que são problemas vitais para o desenvolvimento e libertação econômica do Brasil.

Descrição, com o emprêgo de coordenadas intrínsecas, do movimento de um ponto material em trajetória curvilínea.

Imaginemos um ponto material P, localizável em sua trajetória por uma abscissa curvilínea "s", convenientemente escolhida (isto é, a partir de uma origem O sôbre sua trajetória, medida com unidade de comprimento arbitrária, em sentido concorde com o do deslocamento do móvel e a partir do instante em que o mesmo passa pela origem). Vide figura 1 em que se esquematizam o sistema de coordenadas intrínsecas, um sistema triortogonal móvel com o ponto e um sistema vetorial que, a partir de um ponto arbitrário A, serve para localizar o ponto P no espaço.



P-A é o vetor de posição. Derivando-o em relação ao tempo e lembrando que A é o ponto fixo no espaço, obtém-se:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dP}{ds} \left(\frac{ds}{dt} \right) = v \vec{t} \quad (1)$$

onde "v" é a velocidade do ponto P e " \vec{t} " é o versor da tangente à curva da trajetória.

Derivando ambos os membros da (1) em relação ao tempo, obtém-se:

$$\frac{d^2P}{dt^2} = \frac{dv}{dt} \vec{t} + v^2 \frac{d\vec{t}}{ds} \quad (2)$$

Fazendo $\gamma = \frac{dv}{dt}$ e lembrando que $\frac{d\vec{t}}{ds} = \frac{\vec{n}}{\rho}$, em que ρ é o raio do círculo osculador à curva da trajetória no ponto P, obtém-se:

$$\frac{d^2\vec{P}}{dt^2} = \gamma\vec{t} + v^2 \frac{\vec{n}}{\rho} \quad (3)$$

sendo \vec{n} o versor da normal dirigido para o interior da concavidade da curva.

Derivando novamente em relação ao tempo, obtém-se:

$$\frac{d^3\vec{P}}{dt^3} = \frac{d\gamma}{dt} \vec{t} + \gamma v \frac{d\vec{t}}{ds} + 2v\gamma \frac{\vec{n}}{\rho} + v^3 \left(\frac{1}{\rho} \frac{d\vec{n}}{ds} - \frac{\vec{n}}{\rho^2} \frac{d\rho}{ds} \right) \quad (4)$$

Lembrando que

$$\frac{d\vec{n}}{ds} = -\frac{\vec{b}}{\tau} - \frac{\vec{t}}{\rho}$$

em que \vec{b} é o versor da binormal e τ o raio da segunda curvatura, e, para simplificar a discussão, fazendo "v" constante, obtém-se:

$$\frac{d^3\vec{P}}{dt^3} = -v^3 \left(\frac{\vec{t}}{\rho^2} + \frac{\vec{n}}{\rho^2} \frac{d\rho}{ds} + \frac{\vec{b}}{\rho\tau} \right) \quad (5)$$

Da equação (5) acima ressalta a importância da trajetória plana, pois o seu último termo, o da variação da torção é, em módulo, proporcional ao cubo da velocidade. Admitindo pois, a trajetória plana, ter-se-á $\frac{1}{\tau} = 0$, resultando:

$$\frac{d^3\vec{P}}{dt^3} = -\frac{v^3}{\rho^2} \left(\vec{t} + \vec{n} \frac{d\rho}{ds} \right) \quad (6)$$

A equação (6), que se obtém das hipóteses de estar o ponto móvel animado de velocidade constante em trajetória plana, nos mostra que a variação da aceleração é um vetor do plano (\vec{t}, \vec{n}) , que contém a trajetória plana, é diretamente proporcional ao cubo da velocidade, inversamente proporcional ao quadrado da curvatura, e depende de um fator que também dá a direção e o sentido dessa variação.

Discutindo o valor absoluto de $\frac{d^3P}{dt^3}$, encontra-se:

$$\left| \frac{d^3P}{dt^3} \right| = \frac{v^3}{\rho^2} \sqrt{1 + \left(\frac{d\rho}{ds} \right)^2} \quad (7)$$

A expressão (7) é importante para o estudo do movimento em curvas de transição, pois nas curvas circulares a velocidade constante a equação (3) mostra que é nula a variação da aceleração centrípeta.

As radióides de Nordling e von Leber, idealizadas em 1876, como soluções para o problema da circulação em curva, e cujas equações naturais podem ser expressas por:

$$\frac{1}{\rho} = K s \quad - \text{Radióide dos arcos} \quad (8)$$

$$\frac{1}{\rho} = K x \quad - \text{Radióide das abscissas} \quad (9)$$

$$\frac{1}{\rho} = K r \quad - \text{Radióide das cordas} \quad (10)$$

e que têm como primeira aproximação a parábola cúbica, de equação:

$$Y = \frac{Kx^3}{6} - \text{Parábola cúbica} \quad (11)$$

foram aceitas até 1910 e continuam aceitas pelas estradas de ferro cujos trens ainda não atingiram velocidades de 100 km/h.

Com efeito, das radióides acima, a mais propícia para transição, por ter variação linear de curvatura, é a dos arcos. Derivemos, pois, a equação (8) em relação a s e substituamos o valor dessa derivada em (6) e (7):

$$-\frac{1}{\rho^2} \frac{d\rho}{ds} = K \quad (12)$$

$$\frac{d^3P}{dt^3} = -v^3 \left(\frac{\vec{t}}{\rho^2} - K\vec{n} \right) \quad (13)$$

$$\left| \frac{d^3P}{dt^3} \right| = v^3 \sqrt{\frac{1}{\rho^4} + K^2} \quad (14)$$

Chamemos θ o ângulo que o vetor $\frac{d^3P}{dt^3}$ forma com a direção do versor \vec{t} .

$$\text{tg } \theta = -K\rho^2 \quad (15)$$

Para os pequenos valores de θ , e que usualmente se adotam, pode-se confundir a tangente com a medida natural do ângulo e tem-se:

$$\theta = -K\rho^2 \quad (16)$$

$$\theta = -\frac{1}{Ks^2} \quad (17)$$

por comparação com (8).

Isto é: A variação da aceleração não é radial e sim orientada segundo direção que forma com a direção da trajetória em qualquer ponto. Ângulo que é inversamente proporcional à constante K adotada.

Com a introdução acima estamos em condição de entender a solução de Hallade, de 1910, pesquisando uma concordância que tomou o nome de "Doucine".

Procurando manter plana a trajetória do centro de massa de cada veículo, partiu o estudo de Hallade da curva de superelevação, isto é, do desnível entre os trilhos. Ora, é sabido que

$$h = \frac{(b + t)v^2}{g\rho} \quad (18)$$

é a lei de variação do desnível h entre os dois trilhos, sendo:

b = bitola da via

t = largura da mesa do trilhos

v = velocidade do trem

ρ = raio de curvatura da trajetória

g = aceleração da gravidade

A equação de h em função do desenvolvimento "s" pode ser obtida confrontando as equações (8) e (18), do que resulta para as radióides dos arcos

$$h = \frac{(b + t)v^2}{g} Ks. \quad (19)$$

Porém "h" não pode crescer indefinidamente, e seu valor máximo é prefixado pelas Estradas de Ferro de maneira que, um trem parado em curva não só não tombe, como não provoque ruptura do trilho interior por torção e nem cause desconforto aos passageiros. O valor de "h" obedece à equação (19) até o máximo de 10% a 12% da bitola, isto é:

$$h \leq 0,12 b \quad (20)$$

O gráfico de "h" em função de "s" é então dado pela figura 2.

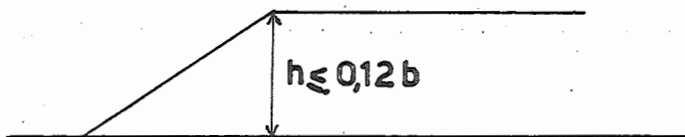


fig. 2

Ora, a equação (18) nos mostra que "h" é uma medida da curvatura, e, portanto, um diagrama trapezoidal de h corresponde a uma transição por clotóide, até atingir-se curvatura constante à qual corresponderá, ou não, a super-elevação conveniente, constante, e afinal outra transição por clotóide, até atingir de novo a tangente em que "h" é igual a zero.

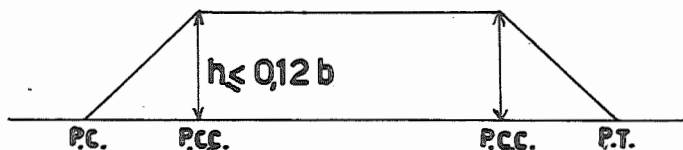


fig. 3

As equações de uma das radióides ou a da parábola cúbica, (8) a (11), e as equações de (18) a (20) formam um sistema superabundante, geralmente contraditório.

Os engenheiros da V.P. e da conserva que partirem da superelevação máxima com uma constante "K" predeterminada para a curva de transição, poderão atingir a curva circular com contacto de primeira ordem apenas. Daí os golpes sôbre o material rodante ao atingir os P.C.C. a velocidades mesmo reduzidas.

Para poder aquilatar da importância da ordem mínima do contacto, primeira ordem apenas, entre curvas da superestrutura, lembremos que a força centrífuga passa de $\frac{Pv^2}{g\rho}$ na curva de curvatura variável para $\frac{Pv^2}{gR}$ na curva circular. Façamos $R < \rho$ e calculemos a diferença ΔF_c no ponto de contacto:

$$\Delta F_c = \frac{Pv^2}{g} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\rho} \right) \quad (21)$$

O caso extremo é aquêle em que se sai de uma tangente, $\rho = \infty$, e se entra numa curva circular, de raio R, como manda a norma brasileira, que se acha, portanto, em condições técnicas anteriores a 1876, adotando contacto de primeira ordem nos P.C. e P.T. A equação (21), sendo tabelada em quilogramas-fôrça por tonelada de peso que incide sôbre cada eixo, a velocidades diversas, nos dará, mesmo desprezando o coeficiente 2 de Clapeyron aplicável por se tratar de um choque, os números abaixo:

TABELA DE ESFORÇOS EM QUILOGRAMOS POR TONELADA

$\begin{array}{c} R_m \\ \rightarrow \\ \downarrow V \text{ km/h} \end{array}$	100	200	300	400	500
10	0,79	0,40	0,26	0,19	0,16
20	3,15	1,57	1,05	0,79	0,65
30	7,09	3,55	2,36	1,77	1,42
40	12,60	6,10	4,20	3,15	2,52
50	19,69	9,85	6,56	4,42	3,94
60	28,35	14,18	9,45	7,09	5,67
70	38,59	19,29	12,86	9,65	7,71
80	50,40	25,20	16,80	12,60	10,08
90	63,79	31,84	21,26	15,95	12,76

Prosseguindo na análise da solução de Hallade, constata-se que esse engenheiro propôs que o desnível entre os trilhos fosse conseguido, não apenas por superelevação do trilho exterior, o que daria como consequência trajetó-

rias não planas para os centros de massa de cada veículo com as conseqüentes torções admitidas inexistentes nas hipóteses iniciais.

A curva de superelevação de Hallade é traçada com contactos de primeira ordem. Ora, impor à uma curva de curvaturas contactos de primeira ordem, equivale a impor contactos de terceira ordem, no mínimo entre as curvas da trajetória, o que exclue a parábola cúbica como solução.

A curva de curvaturas escolhida foi um senóide com a base de referência deslocada.

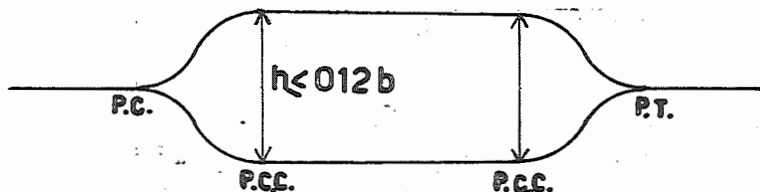


fig. 4

A integração da equação diferencial:

$$\frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} = \frac{K}{\text{sen } x} \quad (22)$$

conduz à solução de Hallade.

Reconhece-se a dificuldade da solução pelo simples exame da equação (22) acima.

A solução encontrada por Hallade foi cuidadosamente experimentada com emprêgo de pêndulos acelerógrafos em diversas posições dos carros, para medir as solicições a que se achariam expostos os passageiros em diversas posições (carros restaurantes, carros dormitórios etc.).

É hoje aceito que $0,6 \text{ ms}^{-3}$ atinge o limiar da sensibilidade humana para a variação da aceleração centrípeta. Essa constante nos fornece meios para calcular o comprimento das curvas de transição, tomando

$$\Delta a = \frac{V^2}{R} \quad (23)$$

como a variação total da aceleração centrípeta, e,

$$\Delta t = \frac{L}{V} \quad (24)$$

como o tempo necessário para percorrer a curva de transição de comprimento L à velocidade V .

Em primeira aproximação ter-se-á:

$$\frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{V^3}{RL} \quad (25)$$

donde:

$$L = \frac{V^3}{\left(\frac{\Delta a}{\Delta t}\right) R} \quad (26)$$

ou:

$$L = \frac{V^3}{3,6^3 \times 0,6 R} = \frac{V^3}{27,994 R} \quad (27)$$

para:

L em metros, V em kmh^{-1} , R em metros e $\frac{\Delta a}{\Delta t} = 0,6 \text{ ms}^{-3}$.

Mas, o engenheiro ferroviário encontra outra especificação, $\frac{\Delta h}{\Delta s}$, que se refere à razão de variação do desnível entre os trilhos e é adotada 2 mm/m a 5 mm/m nas linhas principais, e $\geq 5 \text{ mm/m}$ nas secundárias. Esta especificação está intimamente ligada às características de deformação das molas de suspensão dos veículos ferroviários.

Tendo ela sido formulada para linhas de bitola normal, precisará ser adaptada para linhas de bitolas quaisquer.

Partindo da expressão (19) que nos dá o valor de "h" e derivando-a em relação à "s", obtém-se:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{(b + t)v^2}{g} K \quad (28)$$

Verifica-se que todos os elementos do segundo membro da equação (28) são constantes, portanto, $\frac{dh}{ds}$ confunde-se com $\frac{\Delta h}{\Delta s}$ na transição por clotóide, como já havia sido indicado anteriormente. Ao tempo em que esta especificação foi estudada, a largura "t" da mesa dos trilhos era suficientemente pequena para que a razão $\frac{t}{b}$ pudesse ser desprezada na presença da unidade, isto é, reescrevendo (28) com o fator "b" em evidência, encontra-se:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{b(1 + \frac{t}{b})v^2}{g} K \quad (29)$$

ou

$$\left(\frac{dh}{ds}\right) = \frac{b v^2 K}{g} \quad (30)$$

Fazendo em (30) $\frac{dh}{ds} = \left(\frac{\overline{dh}}{ds}\right)$ quando $b = 1,435$, obtém-se:

$$\left(\frac{\overline{dh}}{ds}\right) = \frac{1,435 v^2 K}{g} \quad (31)$$

Por comparação das equações (28) e (31), obtém-se, então:

$$\left(\frac{dh}{ds}\right) = \left(\frac{b + t}{1,435}\right) \left(\frac{\overline{dh}}{ds}\right) \quad (32)$$

Na bitola de 1,60 m, com trilhos de 0,06 m de largura de mesa, deve ser adotado o valor

$$\frac{dh}{ds} = 5 \cdot \frac{1,66}{1,435} \frac{mm}{m} = 5,78 \frac{mm}{m} \quad (33)$$

e, na bitola de 1,00 m, com trilhos de 0,05 m, o valor

$$\frac{dh}{ds} = 5 \cdot \frac{1,05}{1,435} = 3,66 \frac{mm}{m} \quad (34)$$

em vez do valor $5 \frac{mm}{m}$ da bitola normal. Não se pode, entretanto, desprezar o fato de que o material rodante da bitola larga tem, em geral, o mesmo comprimento que o da bitola normal, e não é, portanto, legítimo reduzir, como indicado acima, o comprimento das curvas de transição. Já na bitola estreita, isto é, na bitola menor que normal, a variação do desnível imporá maiores comprimentos de curvas de transição, o que é a favor da segurança e pode ser adotado sem restrições.

Como se vê, está novamente o engenheiro ferroviário diante de outro problema superabundante.

Procuraremos então uma relação de equivalência entre as especificações acima para que, adotando-se uma, possa-se saber o valor da outra, e assim certificarmos-nos de que nenhuma delas é excedida. A variação da aceleração centrípeta, bem como a do desnível entre os trilhos em curva, são restrições acima e devem ser postas na forma:

$$\frac{\Delta a}{\Delta t} \leq 0,6 \text{ ms}^{-3} \quad (35)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta s} \leq 2 \text{ mm m}^{-1} \quad (36)$$

Retornemos a equação (28) e reescrevamo-la na forma de desigualdade:

$$\frac{(b + t)v^2}{g} K \leq \overline{\left(\frac{\Delta h}{\Delta s}\right)} \quad (37)$$

Eliminemos K entre as equações (8) e (37), tendo o cuidado de substituir ρ pelo raio "R" do círculo, e "S" pelo desenvolvimento "L" da curva de transição, e virá:

$$\frac{(b + t)v^2}{g L R} \leq \overline{\left(\frac{\Delta h}{\Delta s}\right)} \quad (38)$$

Em (38)

$$\frac{v^2}{R} = \Delta a \quad (39)$$

$$\frac{L}{v} = \Delta t \quad (40)$$

portanto, em primeira aproximação, teremos:

$$\frac{\Delta a}{\Delta t} \leq \frac{gv}{(b+t)} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta s} \quad (41)$$

$$\frac{\overline{\Delta h}}{\overline{\Delta s}} \geq \frac{\overline{\Delta a}}{\overline{\Delta t}} \frac{(b+t)}{gv} \quad (41a)$$

Isto é, no limite devemos ter:

$$\frac{\overline{\Delta a}}{\overline{\Delta t}} = \left(\frac{gv}{b+t} \right) \left(\frac{\overline{\Delta h}}{\overline{\Delta s}} \right) \quad (42)$$

Apliquemos a relação (42) para o caso de uma estrada de ferro de bitola 1,60 m com largura de mesa de trilho igual a 0,06, cujos trens percorrem as curvas de transição locada com $\frac{\Delta h}{\Delta s} = 2$ mm/m, (clotóides) à velocidade de 90 km/h. Encontraremos a variação de aceleração centrípeta igual a: 0,295 metros por segundo ao cubo. Muito abaixo, portanto, do valor 0,6 definido como limiar de percepção.

Em 1945, o problema de Hallade foi reestudado por Albert Cacquot, em busca da solução do problema da transição rodoviária. Não nos alongaremos na discussão do método e dos resultados obtidos por Cacquot, cuja exposição se encontra em apêndice à obra de Boutet, D., "L'état actuel de la technique routière", mas diremos apenas que as curvas de curvatura passam a ter contacto de segunda ordem, o que equivale a ter contacto de quarta ordem entre as curvas da direita. (Não admira que mais de um trem na França já tenha excedido a marca de 300 km/h...). Uma inteligente mudança de origem de coordenadas permitiu simplificar a notação algébrica do problema e a solução da equação diferencial correspondente é pesquisada na forma paramétrica para satisfazer a

a condições limites bem definidas. Os resultados estão tabelados para 50 valores do parâmetro, o que equivale a dispor-se de cinquenta pontos para locar uma curva diretriz da superfície regradada de transição. No caso ferroviário a superfície será gerada por um segmento de reta de comprimento igual à bitola, apoiando-se normalmente pelo seu ponto médio na diretriz encontrada e inclinando-se, em relação ao horizonte, de valor igual ao necessário para obter entre os centros das mesas dos trilhos o desnível calculado.

Encerrando esta primeira parte, recapitularemos as grandes etapas das pesquisas teóricas e das experiências que conduziram a soluções cada vez mais aproximadas para o problema da circulação em curva.

DATA	CARACTERÍSTICA DA SOLUÇÃO	A U T O R
184. (?)	Superelevação do trilho exterior desde a tangente. (solução dinâmica defeituosa)	?
1876.	Curvatura variável por meio de radióides. (solução geométrica)	Nordling e von Leber
1910.	Eliminação da torção e contacto de 3a. ordem entre as curvas da trajetória por meio da concordância em Doucine. (solução álgebra-dinâmica)	Hallade
1945	Superfície regradada com contactos de 4a. ordem no mínimo entre as curvas da diretriz. (solução geométrico-dinâmica)	Albert Cacquot

O aprimoramento das soluções acima não teria qualquer valor se a sua execução e refecção não fossem facilitadas por métodos simples e exatos. Passemos, pois, à segunda parte do tema que se refere às tarefas das turmas de conserva tendo em vista repor em sua forma, e mesmo melhorar, as curvas da superestrutura ferroviária.

III - REPOSIÇÃO DOS TRILHOS EM POSIÇÃO ÓTIMA PARA CIRCULAÇÃO DOS TRENS EM CURVAS.

a) O diagrama de flechas.

A amarração das curvas da superestrutura é feita por meio de referências fixas, plantadas ao longo da linha, ou já existentes nas suas proximidades, como sejam, cantos de edifícios, colunas ou pilares, alinhamentos dados por muros etc. Tais referências darão indicações de dois tipos: a) qual o deslocamento sofrido pela linha por influência de passagens de trens; b) do contróle do puxamento radial para repor a linha em sua forma primitiva, ou em outra forma melhorada.

O método baseia-se nas propriedades conhecidas dos diagramas de flechas. Recapitularemos as operações mais importantes e pesquisaremos novas relações que permitam fixar normas de procedimento para melhoria das curvas existentes.

b) Operações de Campo.

Antes de se efetuar o levantamento do diagrama de flechas, começa-se por determinar os P.C., P.

T. e os pontos inamovíveis da curva em estudo. Com um fio de aço estendido próximo ao bordo externo do boleto do trilho exterior em tangente, marcam-se as posições do P.C. e do P.T. visualizando os pontos em que o trilho deixa a reta do fio de aço. Outros pontos inamovíveis são os cruzamentos e as agulhas, bem como os segmentos que por sua posição particular não devam sofrer deslocamentos.

A partir do P.C., com um comprimento previamente escolhido marca-se um ponto sobre a tangente de ré e pontos equidistantes nos extremos de cordas consecutivas até atingir ou ultrapassar com dois pontos o P.T. previamente encontrado. Note-se o cuidado de ter sempre dois pontos sobre as tangentes de ré e de vante. Com o fio de aço anteriormente usado, que deve ter comprimento igual ao de duas cordas, determina-se o alinhamento entre os extremos de duas cordas consecutivas, isto é, entre os extremos de duas cordas que partem de um mesmo piquete. Com uma escala graduada em milímetros e centímetros medem-se nos piquetes intermediários, ao nível da face inferior do boleto, as flechas encontradas, até o alinhamento acima descrito. Tendo-se tido o cuidado de numerar com zero o primeiro piquete sobre a tangente de ré, com $n+1$, o último piquete sobre a tangente de vante, o P.C. será o piquete $n^{\circ} 1$ e o P.T. será o piquete n , ou estará entre os piquetes $n-1$ e n .

Note-se que as flechas f_1 e f_n são próximamente iguais à metade das ordenadas dos piquetes 2 e $n-1$ medidas sobre as respectivas tangentes. Esse pequeno erro

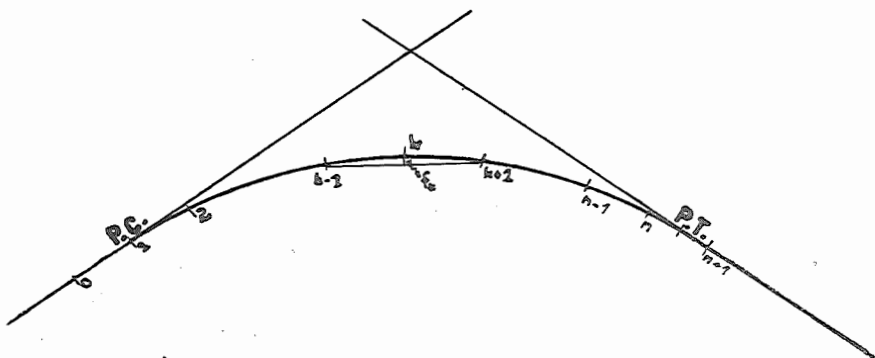


fig. 5

é causa de deformação do diagrama de flechas e, como é sabido, em todo projeto de melhoria de curva esses valores inicial e final são tomados como incógnitas.

(c) Operações de escritório.

Os valores f_i encontrados são tabelados de maneira usual em linhas alternadas. A seu lado são tabelados os valores F_i definitivos, previamente encontrados, ou calculados, tendo em vista melhorar uma curva existente dentro das possibilidades de deslocamento da linha em seu leito. As diferenças $\delta_i = f_i - F_i$ são calculadas, bem como obtidos por acumulação nas linhas intermediárias, os valores de $\Sigma \delta_i = \Sigma (f_i - F_i)$, e, novamente pulando linha, mas partindo de zero no piquete 1 (inamovível), lançam-se os valores $\Sigma \Sigma \delta_i = \Sigma \Sigma (f_i - F_i)$. É sabido que, pelas propriedades do

diagrama de fléchas $\sum \delta_i$ e $\sum \sum \delta_i$ deveriam ser ambos nulos, mas, devido aos erros de aproximação das medidas e do método, encontram-se $\sum_{i=1}^n \delta_i = \epsilon_1$ e $\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \delta_i = \epsilon_2$.

Tomando-se o milímetro como valor admissível para o erro encontrado em cada flécha, procede-se à compensação simultânea dos dois erros numerando primeiramente as diferenças δ_i de trás para diante; isto é, dando-se à diferença do piquete "n" o número zero e à do piquete "um" o número "n-1". O número de modos de se compor " ϵ_2 " em somas de " ϵ_1 " parcelas de valores inteiros compreendidos entre "0" e "n-1" nos dará as maneiras de realizar correções de um milímetro nas diferenças " δ_i ", acima numeradas em ordem inversa. Os valores das parcelas dão as ordens das diferenças δ_i a serem corrigidas.

As correções feitas nos δ_i podem ser atribuídas a erros em qualquer das colunas f_i ou F_i . Atribuem-se êsses erros à coluna de valores de F_i encontrados, quando se procura melhorar uma curva cujos valores F_i são apenas provisórios e satisfazem aproximadamente em números inteiros de milímetros, o sistema de equações que lhes deu origem.

Feita esta rápida recapitulação das propriedades do diagrama de fléchas e de seus usos, passemos à análise dos critérios de escolha dos valores das cordas para que os erros de um milímetro encontrados nas fléchas sejam admissíveis, bem como dos valores de variação $\frac{\Delta f}{\Delta s}$ para

que as condições anteriormente impostas de variação de aceleração centrípeta ou de desnível entre os trilhos continuem sendo respeitadas.

d) Escolha prévia do comprimento da corda para que não seja excedido o erro de 1 mm nas flechas.

Do exame do diagrama de flechas, figura 5, verifica-se que, confundindo o círculo que passa pelos três pontos consecutivos $k-1$, k e $k+1$ com o círculo osculador à curva no ponto k obtém-se:

$$c^2 = 2\rho f \quad (42)$$

em que: "c" é o comprimento escolhido para a corda.

" ρ " é o raio do círculo osculador no ponto e

"f" é a flecha medida no mesmo ponto.

Segue-se que:

$$c \epsilon_c = f \epsilon_\rho + \rho \epsilon_f \quad (43)$$

em que " ϵ_c ", " ϵ_ρ " e " ϵ_f " são os erros que se admitem nas medidas de "c", " ρ " e "f".

Eliminando-se ρ entre as equações (42) e (43), obtém-se:

$$c^2 - 2f \frac{\epsilon_c}{\epsilon_f} c + 2 \frac{\epsilon_\rho}{\epsilon_f} f^2 = 0 \quad (44)$$

Ora, os valores de "c" só podem ser reais, positivos, isto é, $c > 0$; sempre que tivermos o discriminante de (44) positivo ou nulo o valor de c será real, satisfazendo-a.

Portanto, no caso limite, em que

$$\bar{c} = \frac{\epsilon_c}{f} \quad (45)$$

com ϵ_c e ϵ_f em valores absolutos, ter-se-á:

$$\epsilon_\rho = \pm \frac{1}{2} \frac{\epsilon_c^2}{\epsilon_f} \quad (46)$$

Admitindo-se que nas operações de campo possa ser cometido erro grosseiríssimo de 0,05 m no comprimento da corda que separa dois piquetes consecutivos, e que o erro de 0,001 m não seja excedido na medida da flecha segue-se que o erro na estimativa do raio de um círculo que passe pelos três pontos consecutivos, será de:

$$\epsilon_\rho = \pm \frac{1}{2} \frac{0,05^2}{0,001} = 1,25 \text{ m} \quad (47)$$

Este valor de ϵ_ρ assume maior importância na presença do menor raio que chamaremos ρ_0 e é conhecido em cada estrada ou em cada divisão, ou em cada residência de conserva.

A esse menor raio corresponderá a maior flecha, e o maior valor compatível de "c" é dado pela eliminação de "f" entre as equações (42) e (43) depois de resolver a equação resultante:

$$c = \rho_0 \left[\frac{\epsilon_c}{\epsilon_\rho} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_\rho}\right)^2 - 2\left(\frac{f}{\epsilon_\rho}\right)} \right] \quad (48)$$

Adotando-se os erros admissíveis, anteriormente apontados, ter-se-á que o valor de "c" compati-

vel. com (48), será:

$$c_{\text{máx.}} = 0,0965\rho_0 \quad (49)$$

Onde haja curvas de 100 metros de raio não se usem cordas maiores que 9,65 m etc.

A conveniência de uso de cordas de 10 m ressalta, pois, da condição (49), sempre que $\rho_0 \geq 112$ m.

Quando o raio de 1.000 metros for encontrado, a flecha a ser medida com essa corda será:

$$f = \frac{10^2}{2 \times 1.000} = 0,05 \text{ m}$$

Isto é, $f = 50$ milímetros.

Fica assim definido o critério para escolha do comprimento da corda e, a título de aplicação, indicam-se a seguir os valores das cordas a serem empregadas para o levantamento do diagrama de flechas de curvas quaisquer, desde as de linha de bondes, cujos raios descem até o valor de 8 m, até às de raio 1.000 m.

Raio mínimo m	Corda recomendada m	Observações
$6 \leq R < 15$	0,50	Linhas de bonde
$15 \leq R < 25$	1,00	Linhas de bonde
$25 \leq R < 50$	2,00	Estradas de Ferro Secundárias
$50 \leq R < 250$	5,00	Estradas de Ferro Secundárias
$250 \leq R < 1000$	10,00	Estradas de Ferro Principais

Podemos agora objetar, que sendo as flechas proporcionais aos quadrados das cordas, quando se levantarem dois diagramas de flechas de uma mesma curva obter-se-ão valores que conduzirão a puxamentos radiais diferentes. Em resposta, lembra-se que embora os puxamentos radiais venham a ser diferentes, êles serão realizados em um número diferente de pontos e, ao final, o diagrama de flechas encontrado e o resultante terão sempre que satisfazer as propriedades básicas dos diagramas de curvas que concordam os mesmos alinhamentos e, estas propriedades independem do valor da corda.

A primeira propriedade nos diz que

$$\sum_1^n \delta_i = 0 \quad (50)$$

A segunda propriedade nos diz que

$$\sum_1^{n-1} \sum_1^{n-1} \delta_i = 0 \quad (51)$$

ESPECIFICAÇÕES PARA MELHORIA DE CURVAS EXISTENTES.

Foi visto que $f = \frac{c^2}{2\rho}$. Portanto, o diagrama de flechas, tal como o diagrama de superelevação, é um diagrama de curvaturas para valores constantes de "v". tem-se em cada curva:

$$h = \frac{(b + t) v^2}{g\rho}$$

Para efeito de verificar o valor do desnível entre os trilhos é comum impor-se como condição que "h" seja igual a "f" nas equações acima, de onde resulta:

$$\bar{c} = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{2(b+t)g}{g}} \quad (52)$$

As cordas longas estendidas entre os extremos de cordas, c , consécutivas dão os valores de "h", nos vértices comuns a elas. Derivemos em relação a "s" ambos os membros das expressões de "f" e de "h".

$$\frac{df}{ds} = - \frac{c^2}{2\rho^2} \frac{d\rho}{ds} \quad (53)$$

$$\frac{dh}{ds} = - \frac{(b+t)v^2}{g\rho^2} \frac{d\rho}{ds} \quad (54)$$

Lembrando que $-\frac{1}{\rho^2} \frac{d\rho}{ds} = K$, na transição por clotóide, segue-se que:

$$\frac{df}{ds} = \frac{c^2}{2} K \quad (55)$$

$$\frac{dh}{ds} = \frac{(b+t)v^2}{g} K \quad (56)$$

A partir da identidade:

$$\Delta f = \frac{df}{ds} \Delta s \quad (57)$$

segue-se:

$$\Delta f = \frac{c^3}{2} K \quad (58)$$

em que " Δf " é a diferença entre as duas flechas consécutivas, medidas à distância "c" próximamente igual a Δs , e em que K é a constante da curva de transição.

Por outro lado eliminemos "K" entre as equações (55) e (56) acima:

$$\frac{df}{ds} = \frac{c^2 g}{2(b + t) v^2} \frac{dh}{ds} \quad (59)$$

Se $\frac{dh}{ds}$ tiver sido de antemão prefixado a partir das características das suspensões dos veículos a equação (59) aliada à identidade (58) fornecerá:

$$\Delta f = \frac{c^3 g}{2(b + t) v^2} \frac{dh}{ds} \quad (60)$$

Uma estrada de ferro de bitola 1,60 m, cuja largura da mesa do trilho é 7 cm, locou suas curvas adotando a razão de 2 mm por metro para o acréscimo longitudinal do desnível entre os trilhos. Procurando estudar a melhoria das mesmas curvas para uma velocidade diretriz de 90 km/h, pede-se a maior diferença admissível entre as flechas de dois piquetes consecutivos que sejam demarcadas com a equidistância de 10 m.

Substituindo-se na fórmula (60) acima, os valores:

$$c = 10 \text{ m.}$$

$$g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$$

$$b = 1,60 \text{ m.}$$

$$v = \frac{90}{3,6} = 25 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\frac{dh}{ds} = 0,002$$

$$t = 0,07 \text{ m.}$$

Encontra-se:

$$\Delta f = 0,00939 \text{ m. ou } 9,39 \text{ mm.} \approx 9 \text{ mm. por falta.}$$

Para evitar que o erro na medida da flecha possa influir de modo excessivo, deve-se sempre adotar o valor por falta para a diferença entre duas flechas conse-

cutivas da curva melhorada. Abaixo apresenta-se a tabela de dupla entrada, velocidade e variação do desnível, pressupondo o raio da curva circular não menor que 250 m, com os valores das diferenças permissíveis entre flechas em piquetes consecutivos admitindo cordas de 10 metros, para linhas de bitolas de 1 m com trilho de 6 cm (valores superiores), e 1,60 com trilho de 7 cm (valores inferiores).

		Valores de Δf_{mm} da fórmula (61) para								
		$\left. \begin{array}{l} \text{bitola de } 1,00 \text{ m} \\ \text{com trilho de } 6 \text{ cm} \\ \text{bitola de } 1,60 \text{ m} \\ \text{com trilho de } 7 \text{ cm} \end{array} \right\} \text{aproximados por falta}$								
$V \downarrow \text{km/h}$	$\frac{dh}{ds} \frac{mm}{m} \rightarrow$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	20	1,00	149	-	-	-	-	-	-	-
1,60		94	142	190	-	-	-	-	-	-
30	1,00	66	99	133	166	198	-	-	-	-
	1,60	42	63	84	105	126	147	168	-	-
40	1,00	37	56	74	92	111	129	149	168	186
	1,60	23	35	47	59	71	83	95	106	119
50	1,00	23	35	47	59	71	83	95	107	119
	1,60	15	22	30	37	45	53	60	68	76
60	1,00	16	24	33	41	49	57	66	74	83
	1,60	10	15	21	26	31	36	42	47	52
70	1,00	12	18	24	30	36	42	48	54	61
	1,60	7	11	15	19	23	27	31	34	38
80	1,00	9	14	18	23	27	32	37	41	46
	1,60	5	8	11	14	17	20	23	26	29
90	1,00	7	11	14	18	22	25	29	32	36
	1,60	4	7	9	11	13	16	18	21	23
100	1,00	5	8	11	14	17	20	23	26	29
	1,60	3	5	7	9	11	13	15	17	18
110	1,00	4	7	9	12	14	17	19	22	24
	1,60	3	4	6	7	9	10	12	14	15
120	1,00	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	1,60	2	3	5	6	7	9	10	11	13

Observe-se que foram excluídos da tabela os valores de Δf maiores que 200 mm, pois, sendo o raio mínimo escolhido igual a 250 m não teria sentido admitir uma curva de transição com curvatura maior que a curva circular.

CONDIÇÕES PARA MELHORIA DO APOIO COMPATÍVEL COM ALTAS VELOCIDADES

Por ora limitamo-nos a condições geométricas para atender às necessidades de circulação dos trens em curvas a velocidade não superiores a 120 km/h. Passemos em revista as condições elásticas da linha para que se tenham, às mesmas velocidades, coeficientes dinâmicos não superiores a 1,6 que é o valor máximo adotado pelas estradas de ferro européias. Adotaremos o coeficiente dinâmico de Winkler que se obtém a partir da força centrífuga no plano vertical, devido à curvatura da linha elástica. Seja, então, a linha estudada como uma viga infinita, sobre apoio contínuo elástico, e chamemos λ o comprimento de uma viga simplesmente apoiada, de mesma rigidez que o trilho sobre o qual incide no meio do vão a carga concentrada P , e tal que o momento de baixo da carga seja o mesmo que no caso da viga infinita. Demonstra-se que

$$\lambda := \sqrt[4]{\frac{4EJ}{Cl}} \quad (61)$$

em que:

E é o módulo de elasticidade do aço do trilho, igual a

$2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

J é o momento de inércia da secção em relação à fibra neutra, cm^4 .

C é o coeficiente de reacção vertical do apoio (lastro mais dormentes), kg/cm^3 .

l a largura eficaz do patim, em cm .

λ é o comprimento de uma viga como exposto acima, em cm .

Da equação da linha elástica, tem-se que:

$$\frac{M}{E J} = \pm \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (62)$$

ou, aproximadamente, e em valor absoluto

$$\frac{M}{E J} = \frac{1}{\rho''} \quad (63)$$

onde

M é o momento resistente da viga e ρ'' é o raio de curvatura da linha⁽²⁾ elástica no ponto considerado. Por se tratar de força centrífuga, que se somará à carga estática, ter-se-á:

$$M = M_0 \quad (64)$$

e, portanto,

$$M_0 = \frac{P\lambda}{4} \quad (65)$$

e

$$F_c = \frac{Pv^2}{g} \frac{M_0}{EJ} \quad (66)$$

Procurando, para cada roda, a carga estática equivalente, encontra-se

$$P + F_c = P \left(1 + \frac{v^2}{g} \frac{M_0}{EJ} \right) \quad (67)$$

Chamando de P' a carga estática e-
quivalente, encontra-se, pelo confronto de (67) com (65) e
(61):

$$P' = P \left(1 + \frac{Pv^2 \sqrt[4]{\frac{4EJ}{Cl}}}{4gEJ} \right) \quad (68)$$

que aliada à condição:

$$P' \leq 1,6 P \quad (69)$$

permite aquilatar da conveniência de reduzir a velocidade ou o pêso do trem, ou ainda, a de aumentar a rigidez do trilho através de secção de maior momento de inércia. Aponta-se em último lugar a conveniência do aumento de capacidade de suporte da superestrutura pela importância econômica que tem. Aumentar o valor da constante de reação vertical do apoio significa um investimento de capital só justificável em face da possibilidade de, como consequência, ter-se a compensação de uma renda bem aumentada. Por outro lado, o aumento da capacidade de suporte vai repercutir no segundo termo do coeficiente dinâmico, de maneira inversamente proporcional à raiz quarta da razão dêsse aumento, isto é, para reduzir o segundo termo da expressão (69) através de um aumento da capacidade de suporte deve-se ter, chamando C_2 e C_1 às capacidades aumentada e primitiva, N_2 e N_1 ao segundo termo do coeficiente diminuído e o primitivo:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^4 \quad (70)$$

Exemplifiquemos: Para que o coeficiente dinâmico baixe de 1,8 para 1,6 através da variação da capacidade de suporte é necessário que esta esteja aumentada para $\left(\frac{0,8}{0,6}\right)^4 = 3,1$ vezes o seu valor primitivo. Ora, um aumento dessa ordem só é possível quando se passa de um apoio quase anelástico para um apoio elástico, com emprêgo de lastro de pedra. Mas, depois de ter uma superestrutura bem lastreada a melhoria da dormentação por uma melhoria das características dos dormentes, ou por aumento do número de dormentes por quilómetro dificilmente poderá triplicar o valor da constante de reação vertical de apoio. Os últimos números das revistas ferroviárias da França trazem a notícia de experiências de dormentação por segmentos de longarinas que suportam maior extensão do patim, distribuindo a carga sôbre área maior de lastro. Temos dúvida sôbre a eficácia dinâmica e a conveniência econômica de tal tipo de suporte que além disso só permite atirantamento da linha em intervalos maiores que os fornecidos pela dormentação corrente com travessas, o que poderá dar causa a perdas de alinhamento e de bitola. Aguardemos, entretanto, as conclusões, que por certo nos virão da S.N.C.F., através das revistas técnicas.

Os apoios rígidos por longarinas de concreto sob os trilhos já têm sido experimentados e parece que a maior objeção ao seu emprêgo provém da usura ondulatoria que provocam.

Não menos importante é o problema das juntas dos trilhos. As barras curtas, com frequentes descontinuidades, aumentam as despesas de fixação dos trilhos pelo elevado número de talas, parafusos e demais acessórios, além de exigirem maior número de dormentes de contra-junta.

As batidas de juntas danificam tanto a via permanente como o material rodante. É, pois, de grande interesse soldar as barras de trilhos tendo antes o cuidado de eliminar os trechos defeituosos, facilmente localizáveis por processos eletromagnéticos. A Companhia Paulista de Estradas de Ferro iniciou a solda de trilhos em barras de cerca de 80 m, aumentou-as depois para 120 m e já está usando-as de 250 m. A limitação ao comprimento dessas barras é imposta pela pseudo-flambagem, devida aos esforços de tópo nas juntas. Entretanto, esse inconveniente pode ser contornado pelo emprego de juntas de bisel, quando não se possa assegurar uma fixação rígida que impeça os movimentos de dilatação e contração por efeito das variações de temperatura. Quanto maiores forem os perfis de trilhos, maiores serão os esforços de tópo, que se avaliam pela expressão:

$$\sigma = E\alpha\Delta T \quad (71)$$

onde: "E" é o módulo de elasticidade do aço, $2,1 \times 10^6$ kg/cm²

" α " é o coeficiente de dilatação linear, °C⁻¹.

" ΔT " é a variação de temperatura a que fica exposta a barra, °C.

" σ " é a tensão em kg cm^{-2} .

Ficam apontadas, acima, as principais características geométricas e elásticas a serem preenchidas pela via permanente para permitir o aumento de peso e de velocidade dos trens. Deixamos de lado as características dos veículos, de seus acessórios de tração e de frenagem que são não menos importantes, mas que fogem ao título do item 9 acima, escolhido no temário. Apresentamos, finalmente, para debate e, se aprovadas, para recomendação, as seguintes conclusões:

CONCLUSÕES

- 1 - DEVEM SER MANTIDAS PLANAS AS TRAJETÓRIAS DESCRITAS PELOS CENTROS DE MASSA DOS VEÍCULOS FERROVIÁRIOS.
- 2 - AS CURVAS DE TRANSIÇÃO DEVEM TER DESENVOLVIMENTO TAL QUE A VARIAÇÃO DA ACELERAÇÃO CENTRÍPETA, OU A VARIAÇÃO DO EQUIVALENTE DESNÍVEL DO TRILHO EXTERIOR POR UNIDADE DE COMPRIMENTO, SEJA COMPATÍVEL COM O CONFÔRTO E A SEGURANÇA DA CIRCULAÇÃO. ESSE DESENVOLVIMENTO NÃO DEVE SER MENOR QUE O DE TRÊS COMPRIMENTOS DO VEÍCULO MAIS LONGO QUE AS PERCORRAM.
- 3 - SEMPRE QUE AS CONDIÇÕES DE ASSENTAMENTO DE CURVAS FOREM IMPOSTAS SIMULTÂNEAMENTE, PREFERIR AQUELA QUE ASSEGURE CONTACTOS DE MAIOR ORDEM NOS R.C., P.C.C. E P.T.
- 4 - NOS ESTUDOS DE MELHORIA DE CURVAS EXISTENTES, RESPEITAR A VARIAÇÃO DE FLECHA POR PIQUETE, COMPATÍVEL COM AS CARACTERÍSTICAS DE LOCAÇÃO DAS CURVAS DE TRANSIÇÃO E CIRCU-

LAA EN CONTACTO.

- 5 - A VIA PERMANENTE DEVE TER CARACTERÍSTICAS DE REAÇÃO VERTICAL DE APOIO COMPATÍVEIS COM UM LASTREAMENTO E UMA DORMENTAÇÃO ECONÔMICOS.
- 6 - AUMENTAR A SECÇÃO DO TRILHO SEMPRE QUE FOR VERIFICADA A CONVENIÊNCIA ECONÔMICA DE SE AUMENTAREM O PÊSO E A VELOCIDADE DOS TRENS, TENDO EM VISTA MANTER NÃO SUPERIOR A 1,6 O COEFICIENTE DINÂMICO DE WINKLER.
- 7 - REDUZIR POR SOLDA DAS BARRAS DE TRILHOS O NÚMERO DE JUNTAS AO MÍNIMO COMPATÍVEL COM A ESTABILIDADE DA VIA PERMANENTE, TENDO EM VISTA TAMBÉM A ECONOMIA DA EXECUÇÃO DESSAS SOLDAS, O TRANSPORTE E A CONSERVA DE TAIS BARRAS LONGAS.
- 8 - A DORMENTAÇÃO POR SEGMENTOS DE LONGARINAS COM TIRANTES DE FIXAÇÃO DEVE SER EXPERIMENTADA NAS LINHAS EM QUE CIRCULEM TRENS EXCEPCIONALMENTE PESADOS. RECOMENDA-SE ESPECIAL ATENÇÃO PARA OS EFEITOS DE USURA ONDULATORIA AO EMPREGAR ESSE TIPO DE SUPORTE.

São Carlos, 16 de abril de 1956

JORGE WASHINGTON DE OLIVEIRA

BIBLIOGRAFIA

Os assuntos tratados no presente trabalho acham-se discutidos com maior ou menor desenvolvimento nas seguintes obras, que são citadas de memória:

- 1 - Chappellet, J. - *Méthodes de rectification du tracé des courbes*. Paris - Eyrolles.
- 2 - Boutet, D. - *L'état actuel de la technique routière*. Paris - Science et Industrie.
- 3 - Stabilini, L. - *Costruzione Stradali e Ferroviarie* - Milano - Politécnico.
- 4 - Corini, F. - *Scienza e tecnica delle costruzioni stradali e ferroviarie* - Milano - Ulrico Hoepli.

Senhor Presidente,

Designado para relatar a Tese apresentada pelo Eng. Jorge Washington de Oliveira, professor da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, sob o título "MODERNIZAÇÃO E ADAPTAÇÃO DA VIA FÉRREA PARA PERMITIR A CIRCULAÇÃO DE TRENS PESADOS E O EMPRÊGO DE ALTAS VELOCIDADES: - CONDIÇÕES TÉCNICAS", passo a relatar o que segue:

Inegavelmente, o autor abordou um dos assuntos mais palpitantes na presente conjuntura ferroviária, uma vez que, modernamente, a economia, rapidez, segurança e conforto são os fatores que presidem a implantação e modernização das ferrovias.

A rapidez enquadra a velocidade dos comboios ferroviários que por sua vez está intimamente ligado à curvatura das linhas férreas, problemas que o autor, em seu trabalho, abordou com proficiência e alto descoratório. É interessante notar, e isso o autor assinala com bastante propriedade, que a análise matemática do problema deve corresponder a verificação técnica no terreno, como que confirmando a sentença de que a "A Ciência sem a Técnica é cega e a Técnica sem a Ciência é falha".

A apreciação matemática do problema da curvatura da linha foi, como já dissemos, fartamente desenvolvida pelo autor nas primeiras páginas de seu trabalho, que julgamos um subsídio à vasta Bibliografia existente sobre o assunto, tanto na Escola Norte-Americana da Curva Espiral, como na Européia, da Concordância pela Parábola Cúbica.

Analisa o autor a questão das Curvas de Transição para obtenção da segurança na circulação curvilínea, abordando também a discutida questão da Superelevação

Máxima em cada bitola, a que os americanos dão grande importância: "Superelevação Máxima de Confôrto".

O problema teórico tem sido discutido, como bem diz o autor, desde 1876 até nossos dias e tudo gira em tórno de realizar na prática o que preceitua a teoria, ou melhor, colocar a linha em curva dentro da concepção teórica. Neste particular, o autor também aborda a Teoria das Fléchas, assunto em que chegamos ao máximo que permite a técnica pelo auxílio até de um Calculador Mecânico-Matista, muito empregado na Europa, notadamente na França.

Um outro assunto abordado pelo autor é o relativo ao apoio compatível com as Altas Velocidades o qual é examinado sucintamente, não só com relação ao clássico dormente como também às Longarinas Longitudinais munidas de barras ou "tirantes de manutenção de bitolas", tudo diretamente relacionado com o Lastro, objetivando um "módulo de elasticidade" compatível com Altas Velocidades.

Pelas notícias que temos, a questão das Longarinas Longitudinais já constitui um assunto superado, restando o tipo dormente-madeira, ferro e concreto - que é onde se concentram as modernas experiências para a implantação de uma Superestrutura condizente com a exigência moderna da Alta Velocidade.

A perfeita continuidade da superfície de rolamento, assunto muito em voga no momento, é em parte conseguida pela solda de trilhos objetivando a obtenção do chamado "Trilho Contínuo" na maior extensão possível.

Já tivemos ocasião de estudar o assunto e temos conhecimento que "Trilhos Contínuos" de 400 m são comuns nos Estados Unidos, sendo que em caráter experimental chegou-se até a 15 km.

As conclusões a que chegou o autor, em número de oito, abordando os problemas: Curva de Transição, Implantação das Curvas de Transição, Dormentação, Aumento da Seção do Trilho e, finalmente, Solda de Trilhos, constituem assunto de suma importância para que se obtenha a exigência moderna da Velocidade, não só em curva como também em Tangente.

Entendemos que a exigência da Alta Velocidade revolucionou a técnica ferroviária porquanto, antigamente se começava a ditar as características teóricas de uma linha pela rampa máxima a ser adotada e hoje entendemos que o primeiro elemento a ser fixado é o raio mínimo de curva para uma dada "Velocidade Diretriz".

Rampa vence-se com potência, porém Força Centrífuga só se anula com correto raio de curva.

Concluindo, é com prazer que louvamos o trabalho do Eng. Jorge Washington de Oliveira, cujos conhecimentos relativos à Via Permanente são convincentes através da belíssima monografia apresentada ao Segundo Congresso Geral de Transportes, pelo que as suas conclusões podem e devem ser aprovadas.

Montenegro, 23 de maio de 1956

a) Urbano Setembrino de Carvalho