

BNDE

Treinamento específico na área de transpor-
tes Disciplina: 1.1 - Tecnologia e infraestru
tura ferroviária via permanente



BANCO NACIONAL DO
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HUMANOS

F-919

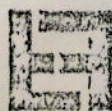
φ47316φ1-2

TREINAMENTO ESPECIFICO NA ÁREA DE TRANSPORTES

DISCIPLINA: I.1 TECNOLOGIA E INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA

VIA PERMANENTE

ENGº HELMAR WANKE



enefer

CONSULTORIA, PROJETOS LTDA.

SELEÇÃO DE TEXTOS, GRÁFICOS E FIGURAS

O texto do qual foram selecionadas as partes ora apresentadas, foi elaborado a partir de Curso ministrado pelo Prof. Wanke.

Foram tiradas 2 cópias do texto integral que se encontram na Biblioteca do BNDE e no DEINF/AP-II, onde poderão ser consultados.

O critério para seleção buscou apresentar os tópicos de maior abrangência e as figuras e gráficos mais ilustrativos.

II - CONCEITOS E PROBLEMAS NOS TRANSPORTES

Os Sistemas de Transporte poderiam ser classificados, conforme o seu grau de liberdade no uso individual em:

"Sistema Aberto: É aquele para o qual existe total e plena liberdade de uso individual. Trata-se do meio de transporte mais trivial entre nós - é o Sistema Rodoviário. Nele, os custos operacionais são, em sua grande maioria, lançados sobre o usuário, onerando diretamente o bem transportado. Este sistema beneficia, quase que exclusivamente, as classes sociais mais abastadas. Este sistema é o mais prático para cada cidadão individualmente, sendo porém o mais caro para a nação. O custo desse sistema não aparece para a nação, pois é impossível fazer sua contabilização macroscópica. Tem a vantagem de gerir um rápido incremento na in

indústria mecânica de uma nação, aumentando inicialmente os impostos arrecadados, mas com o decorrer do tempo os mesmos não mais serão suficientes para cobrir as despesas necessárias em infra-estrutura para manter o "mecanismo" funcionando satisfatoriamente. Surgem os artifícios - pedágios, taxas diversas, seguros, etc...

Por estas e outras razões não mencionadas, a indústria automobilística é conhecida na Alemanha como "VERSCHLEISSINDUSTRIE DER WIRTSCHAFT" que, traduzido quer dizer: "Indústria que corroz a Economia".

Sistema Fechado. É aquele no qual não existe liberdade no uso individual. Seu uso é regido por rígidos regulamentos e normas - é o Sistema Ferroviário. Todos o podem utilizar desde que aceitem os regulamentos - paradas pré-estabelecidas, horário rígido, velocidade ditada pelo sistema e não pelo usuário, etc. Este sistema permite uma total e plena contabilização dos custos diretos e indiretos. Esta característica confere ao sistema o conceito de segurança nacional sob seus vários aspectos. Pelas suas condições, propicia o transporte subsidiado pelo congelamento das tarifas, não só para os passageiros, mas também para as mercadorias. Este sistema funciona como elemento social no contexto nacional. Exatamente por estes fatores o sistema se mostra deficitário em termos empresariais mas jamais em termos macro-econômicos.

O transporte por dutos faz parte desse sistema, e cuja intensidade de utilização vem aumentando cada vez mais, destacando-se a Rússia, onde já em 77, alcançava pouco mais de 12% da totalidade dos bens transportados.

Sistema Intermediário: São todos os demais meios de transporte onde existe maior ou menor grau de liberdade no seu uso individual. Neste sistema encontra-se o transporte fluvial, o transporte marítimo, o transporte aéreo, etc... Neste sistema é generalizado o uso de "linhas", "rotas",... sendo estas controladas pelos terminais, os quais por sua vez obedecem a regulamentos rígidos e controlados geralmente por órgãos governamentais.

Os três sistemas devem se integrar no contexto nacional. Debates constantes deste ou daquele sistema, caracterizam geralmente uma imaturidade administrativa, sendo o governo o único a pagar as consequências (demasiadamente caras). Deve-se, isto sim, tirar o máximo proveito, que será obtido se o conjunto das massas deslocadas num país se processam em perfeito e racional sincronismo entre os diversos sistemas, em função de seus custos operacionais, da qualidade do produto e das condições locais.

V. INFRA-ESTRUTURA FERROVIÁRIA

A infra-estrutura ferroviária é composta pelo conjunto das obras de arte e de terraplenagem. Este conjunto de obras praticamente não diferem das que se constroem para as rodovias. Conhecemos por infra-estrutura ferroviária todas as obras situadas logo abaixo do lastro como podemos observar na Figura 5.

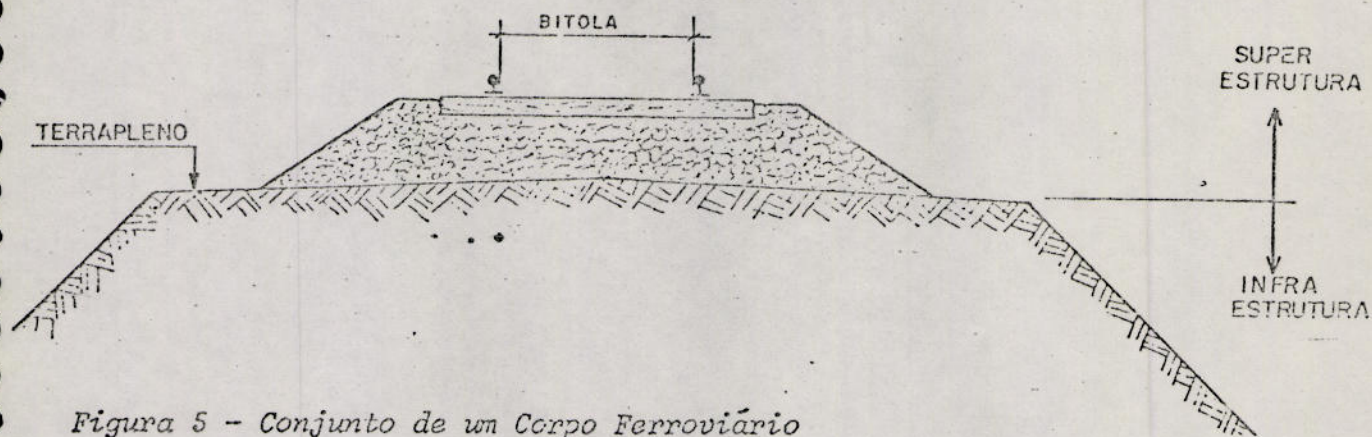


Figura 5 - Conjunto de um Corpo Ferroviário

Da infra-estrutura ferroviária fazem parte:

- os cortes
- os aterros
- os muros de arrimo
- as pontes
- os túneis
- e todas as obras de drenagem superficial e profunda, etc...

Da superestrutura ferroviária fazem parte:

- o sub-lastro
- o lastro
- os dormentes e suas fixações dos trilhos
- os trilhos, etc...

A infra-estrutura ferroviária pode ser construída totalmente abaixo do terreno natural do solo, sendo conhecido como corte, Figura 6; quando o corte se dá em rocha, o talude é praticamente na vertical e recebe o nome de corte caixão. Nos cortes em terra, damos uma inclinação a:b nos taludes, que depende

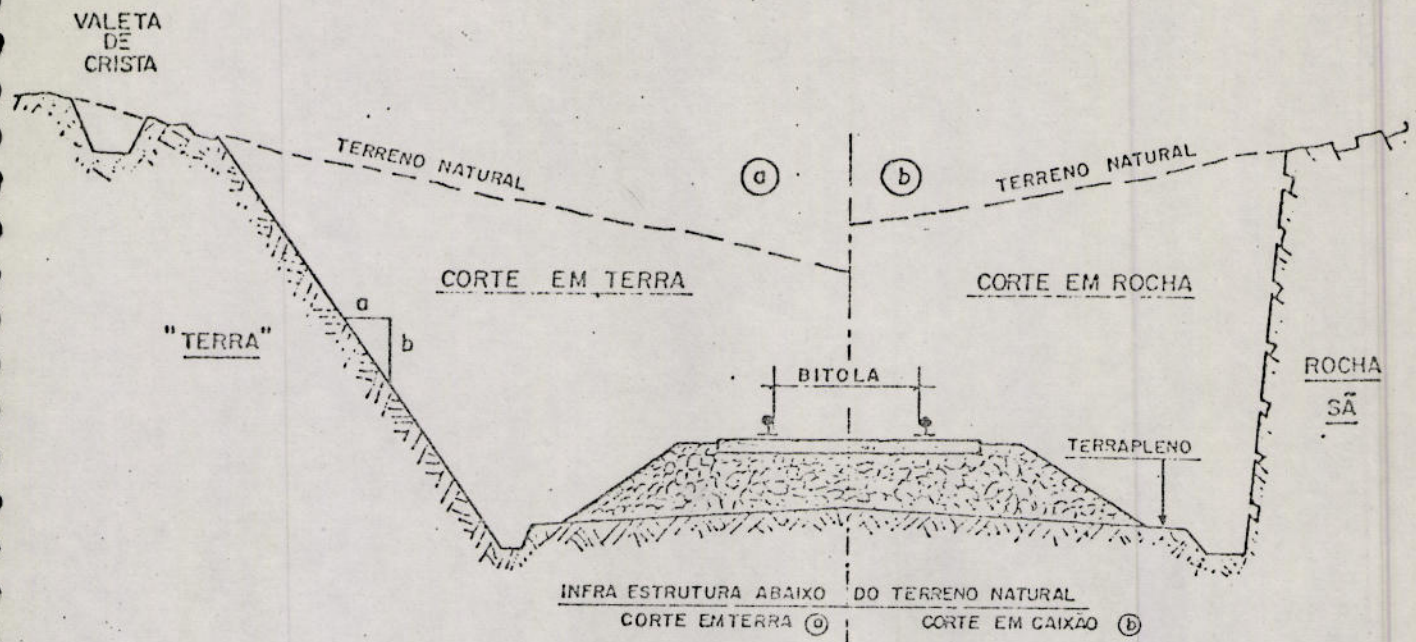


Figura 6 - Infra-estrutura abaixo do terreno natural - Corte em terra a , corte caixão b.

da coesão que o terreno possui.

Quando a infra-estrutura está construída sobre o terreno, temos um aterro que em geral sofre uma compactação, a fim de dar-lhe maior consistência, como podemos observar na Figura 7.

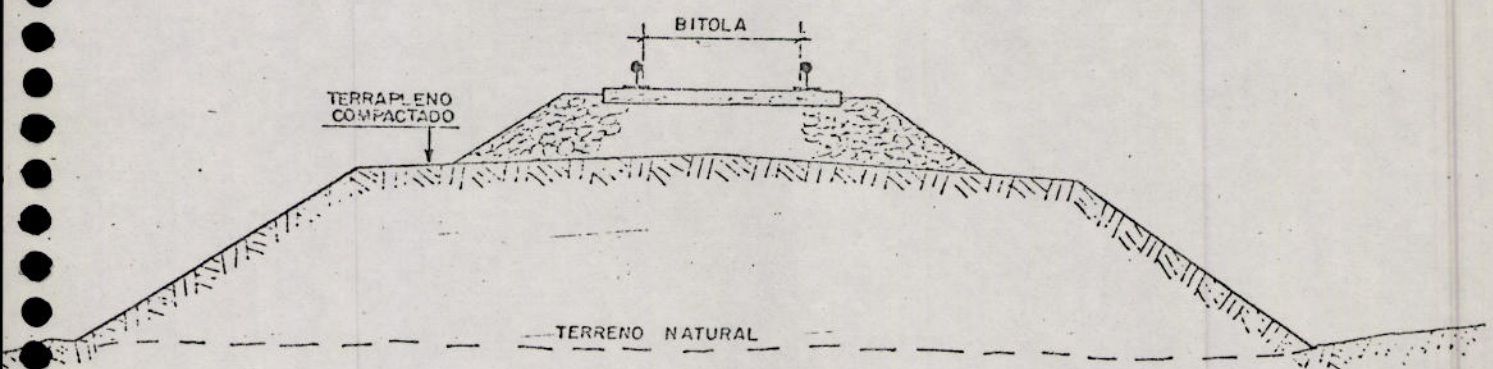


Figura 7 - Infra-estrutura em aterro.

Podemos também construir a infra-estrutura em seção mista, ou seja parte em corte e parte em aterro. Neste caso a parte aterrada deve estar assentada no solo que, previamente sofreu uma escariação em forma de degraus. Este procedimento visa dar mais estabilidade ao aterro, como se vê na Figura 8.

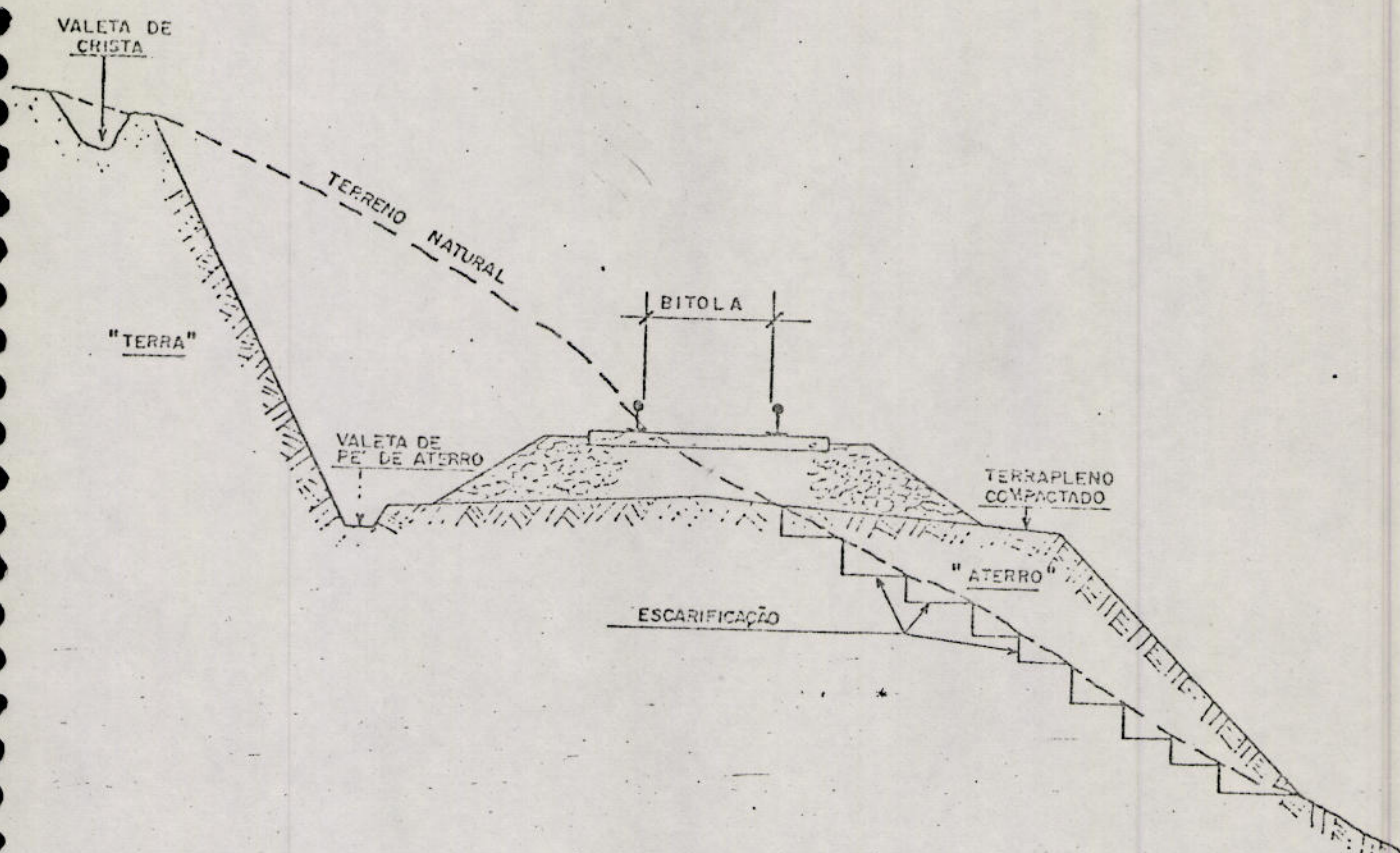


Figura 8 - Infra-estrutura ferroviária em seção mista.

Para a construção de uma ferrovia ou rodovia, é necessário conhecer o perfil geológico do terreno ao longo do desenvolvimento da estrada, para que seja mais fácil o estudo de estabilidade dos taludes nos cortes e nos aterros, bem como a correta escolha do método construtivo dos mesmos.

Como exemplo citemos o caso de uma estrada que corta um terreno de várzea mole, sem muita consistência, devendo suportar um determinado aterro. Torna-se necessário estudar a remoção do terreno mole quando a sua espessura o justifique economicamente, ou executar o rebaixamento permanente do lençol freático, ou ainda introduzir o aterro no terreno mole por meio de sua expulsão por explosão. Outra solução viável, é a construção do aterro com uma boa sobrecarga, esperar o tempo necessário para estabilizar a maior parte do recalque, até ao nível admissível, para depois remover o excesso, podendo servir para construir as bermas de equilíbrio na base dos aterros, para evitar o refluxo do solo mole. Este último processo requer bastante tempo e nem sempre é possível aplicá-lo.

No projeto da infra-estrutura ferroviária devemos projetar o perfil longitudinal da estrada de ferro de tal maneira que se tenha, mais ou menos, um equilíbrio entre os volumes de corte e de aterro ao longo da estrada; sendo, mesmo desejável, que o volume de corte seja um pouco superior ao do aterro. Convem

salientar que a qualidade do solo para o aterro deve ser boa e, nem sempre, o material do corte oferece esta qualidade; neste caso, deve-se recorrer a uma solução compatível, usando-se o solo pior na base do aterro e compactá-lo, sendo o de boa qualidade aplicado nas últimas camadas e também compactado. Outra solução é recorrer a uma correção por meio de misturas granulométricas, processo pouco usado devido ao seu elevado custo.

Na construção de infra-estrutura ferroviária devemos dar muita atenção aos problemas de drenagem, tanto a superficial como a profunda. A drenagem quando bem executada garante à estrada uma longa vida útil, reduzindo os custos de manutenção e de conservação ao longo do tempo.

Tanto em cortes como em aterros é recomendável a construção de uma camada entre o lastro e o terrapleno com espessura de 15 a 30 cm de material com granulometria graduada, obedecendo as características dos materiais filtrantes como definido por Terzaghi. Essa camada é conhecida por sub-lastro. Dessa forma evitamos que a pedra britada do lastro atue diretamente sobre o terrapleno além de impedir a formação de bolsões de lastro, como indicado na Figura 9.

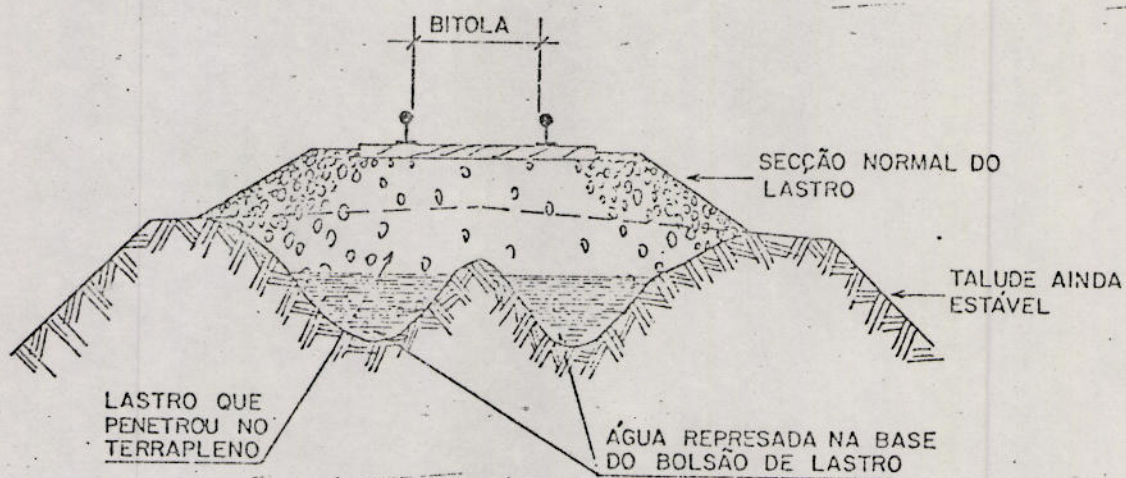


Figura 9 - Formação típica de uma bolsa de lastro. Nesta seção a lama amolecida é bombeada para a superfície impregnando todo o lastro com terra tirando boa parte de sua função do lastro.

Os bolsões de lastro têm sua origem no amolecimento do terrapleno provocada pela água não escoada, aliada à vibração que o trem, ao passar, introduz no lastro. Depois de iniciado o processo, este passa a funcionar como bomba, bombeando para a parte superior do lastro a parte amolecida do terrapleno, é um processo progressivo, irreversível e difícil de ser resolvido sem interromper o tráfego ferroviário. A incidência dos bolsões de lastro ocorrem, com mais frequências, em ferrovias não construídas com os modernos recursos da técnica, e sendo comuns nas vias de elevada densidade de tráfego.

Nesses locais a via férrea perde a sua estabilidade, tornando necessário a constante intervenção das turmas de manutenção. Uma das soluções paliativas é a aplicação de injeções de argamassa de cimento e areia em dosagens adequadas, serviço que pode ser executado conservando a operação da estrada. A solução correta, a única que é definitiva, é a remoção total do local afetado, seccando-o, refazendo o aterro e a via férrea com lastro novo. É um serviço caro, requerendo a interrupção da via férrea e consequentemente de sua operação.

A camada de sub-lastro propicia ainda, uma melhor e mais uniforme distribuição de pressão, ativada pelos trens em sua passagem, sobre o solo do terrapleno.

Antes de se executar o assentamento da via permanente, devemos executar a drenagem superficial.

A drenagem superficial consiste em afastar para fora do terrapleno as águas das chuvas o mais rápido possível. Isso será possível fazendo-se na base B do terrapleno, uma inclinação de 1:20 a 1:25, ou seja 5 a 4% de declividade, como indicado na figura 10.

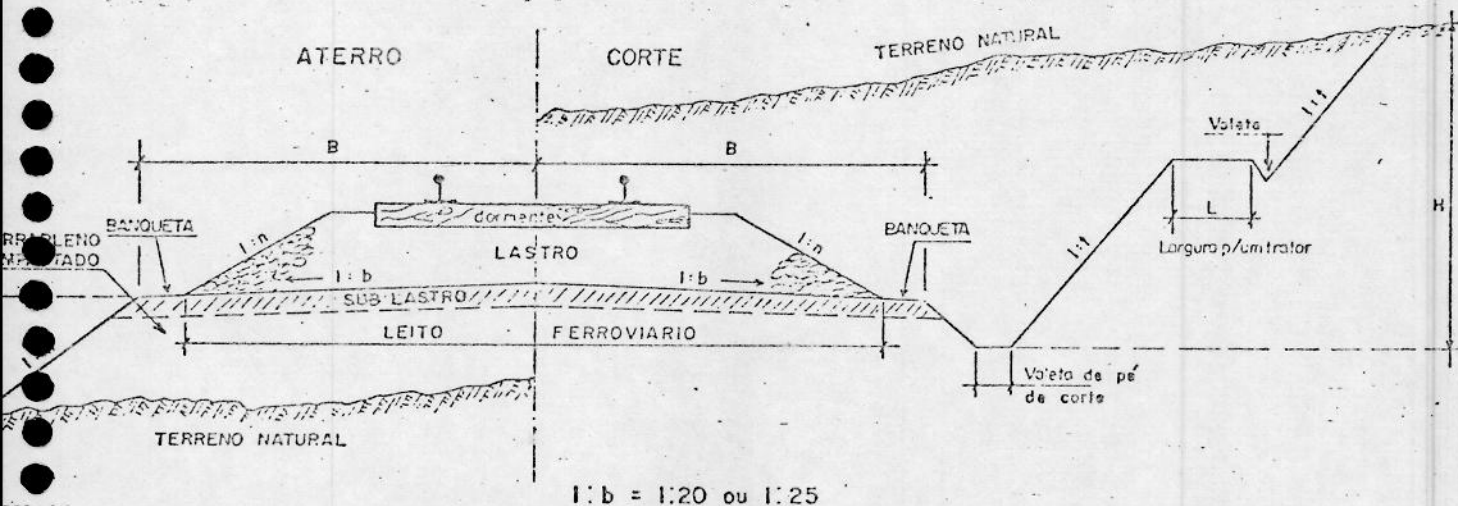


Figura 10 - Detalhes de Secção Típica.

A declividade 1:t que se deve dar no corte depende das características qualitativas do solo, assim em solo de rocha sã o talude pode ser 1:0 ou praticamente na vertical, como já mencionado antes. Em solos de boa consistência, bem coesivos, o talude no corte pode ser de 3:2 - 3 na vertical e 2 na horizontal - e, à medida que as qualidades coesivas diminuem esta declividade também deve diminuir. Em cortes onde a altura H é muito grande torna-se necessário intercalar banquetas auxiliares com drenagem, visando diminuir a erosão pluviométrica, como indicado esquematicamente na Figura 10.

A declividade 1:m, em geral é de 1:1,5 ou 2:3 - nas saias dos aterros. Quando a altura H do aterro for muito alta e o solo da base não muito resistente, é

comem construir bermas de equilíbrio, que ajudam a dar maior estabilidade aos taludes, evitando-se assim os deslizamentos devido à ruptura do solo, como indicado na Figura 11.

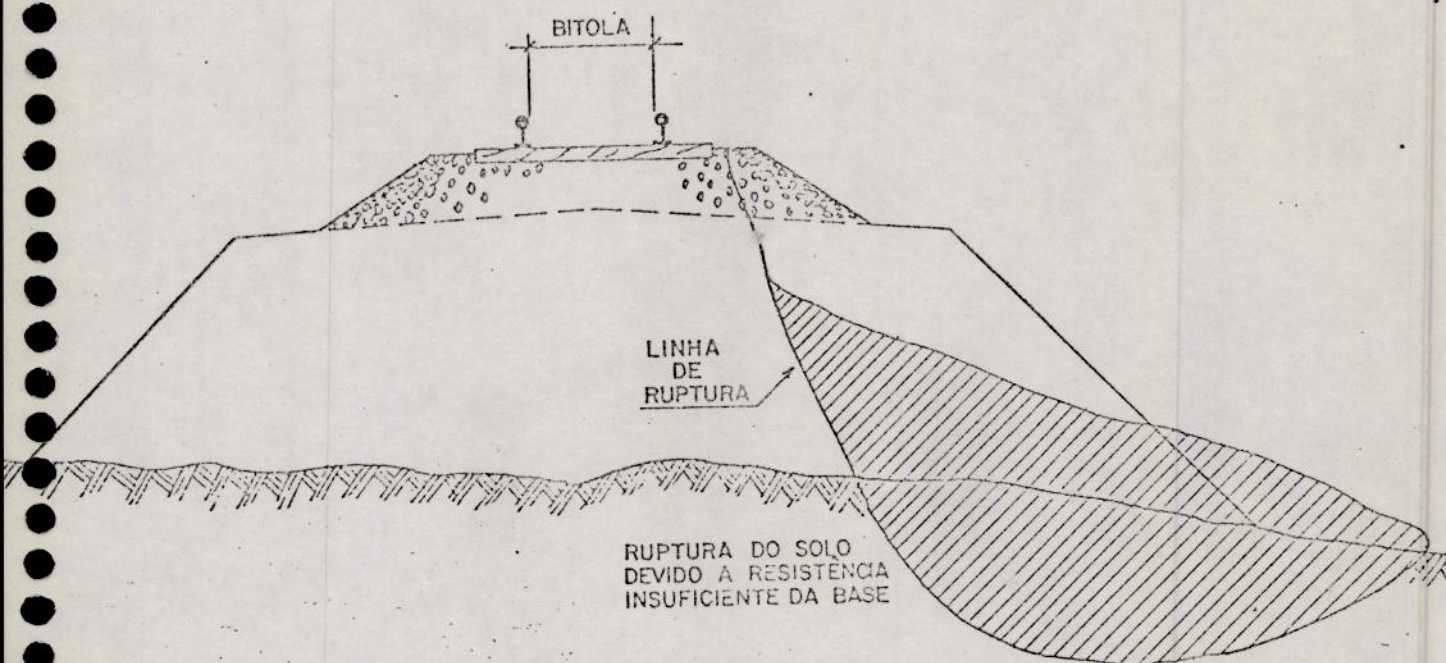


Figura 11 - Ruptura do solo devido à resistência insuficiente da base.

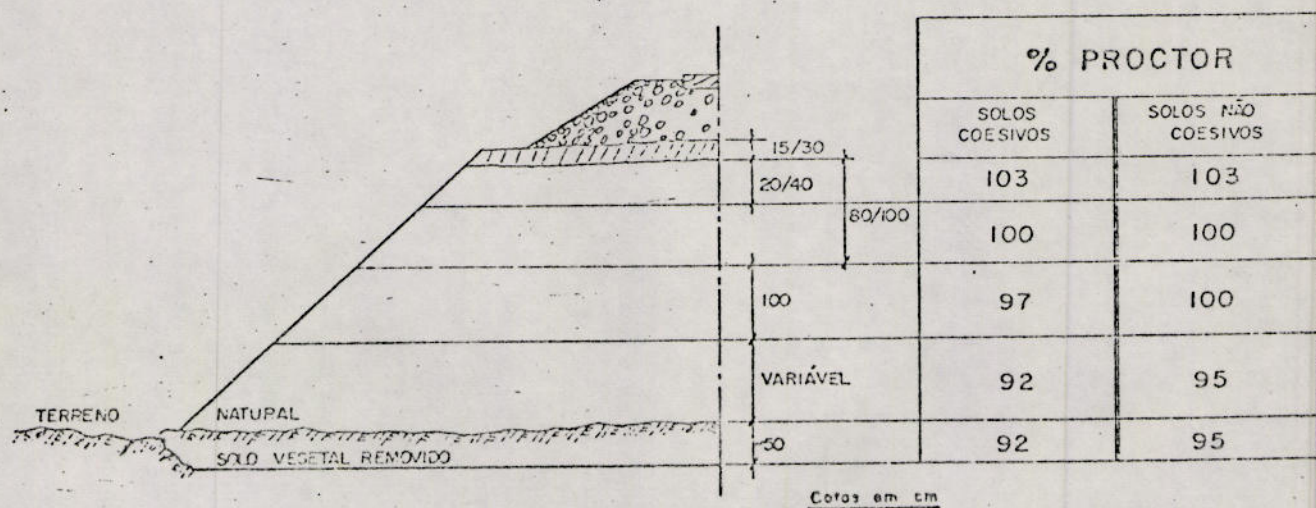


Figura 12 - Compactação indicativa para uma seção em aterro.

Sob os aterros o solo vegetal deve ser sempre removido e repostado com uma camada de aproximadamente 50 cm devendo ser compactado com uma energia tal, que os ensaios de proctor normal atinjam percentagem mínima de 92% em solos coesi

vos e 95% em solos não coesivos. Na Figura 12, damos os valores percentuais dos ensaios de proctor normal recomendados na execução dos aterros ferroviários para as diversas camadas. Os valores acima referem-se a uma energia de compactação equivalente a 60 tcm/m^3 .

Finalizando, desejamos alertar para o caso das passagens de tubos, que conduzem líquidos ou mesmo gases, na infra-estrutura ferroviária. Estas travessias de tubos só serão permitidos quando encamisados e estas regras são normalizadas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

VI. SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA

A superestrutura ferroviária constitui a pista de rolamento elástica para os trens. Ela se compõe, como já afirmamos, dos seguintes elementos construtivos:

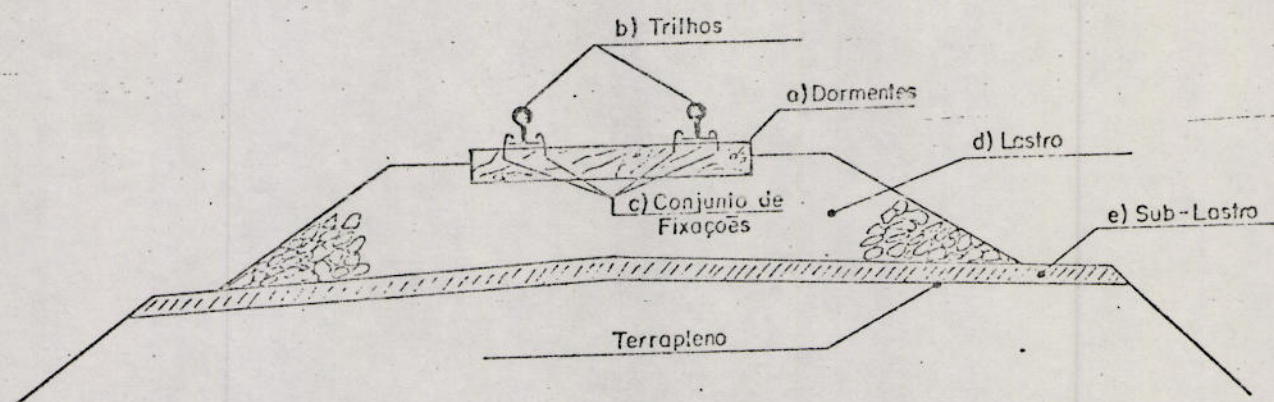


Figura 13 - Componentes da superestrutura ferroviária.

- a) Dos dormentes.
- b) Dos trilhos
- c) Dos conjuntos de fixações dos trilhos aos dormentes.
- d) Do lastro.
- e) Do sub-lastro.

A superestrutura ferroviária deve atender, entre outras, as seguintes finalidades básicas:

- a) Manter permanentemente o exato afastamento dos trilhos, ou seja a bitola, e da inclinação dos trilhos sobre a vertical.
- b) Garantir a exata geometria do traçado originalmente previsto. Podemos afirmar que deve garantir o alinhamento longitudinal, o nivelamento transversal e o nivelamento longitudinal.

- c) Deve transmitir as cargas atuantes, provenientes dos veículos, sobre a superestrutura ferroviária, transferindo-as para a infra-estrutura - sobre o terrapleno, sem apresentar deformações permanentes.
- d) Em qualquer época e sob qualquer condição climática deve permitir a circulação dos veículos ferroviários com toda segurança e suavidade mesmo a velocidades crescentes.
- e) Mesmo em descarrilhamento, os materiais componentes da superestrutura ferroviária não devem sofrer destruição total e, de preferência, devem permitir ainda a circulação dos trens em regime de precaução, ou seja, em velocidade reduzida.
- f) Os materiais de superestrutura ferroviária devem garantir um rápido escoamento das águas pluviais para fora do terrapleno, este não deve possibilitar a retenção das águas pluviais, empoeirando-as. A infra-estrutura deve sempre ficar livre das águas de qualquer natureza, mantendo-as ao menor nível possível.
- g) Todos os materiais da superestrutura ferroviária devem ser de baixo custo, possuir longa vida útil e não devem ser corroídos com facilidade. Além disso, devem possuir uma boa elasticidade vertical, e transversal, visando amortecer, ao máximo, as vibrações provenientes dos trens.
- h) Todos os materiais da superestrutura ferroviária de reduzida vida útil (parafusos, porcas, arruelas, cliques, calços, almofadas, etc...) devem ser de fácil substituição. Essa substituição deve ser, sempre que as condições o permitam, executada por processos mecanizados, a fim de reduzir e poupar a mão-de-obra, aumentando o rendimento dos serviços.
- i) Os materiais das fixações dos trilhos aos dormentes devem possuir resistência horizontal e transversal suficiente para permitir a operação eficiente dos pesados equipamentos de manutenção e de conservação da via.

O trilho de rolamento está diretamente no trilho, este apoiado na placa de apoio. A placa de apoio está presa ao dormente e este assentado no lastro. O lastro por sua vez está sobre o sub-lastro e este sobre o terrapleno. O trilho, a placa de apoio, o conjunto da fixação do trilho, o dormente, o lastro e o sub-lastro têm a função de receber as cargas atuantes e redistribuí-las às peças subsequentes para que a menor parcela de tensões atinjam o terrapleno. Para uma carga por eixo de 24 toneladas, ou seja por roda de 12 toneladas haverá uma redistribuição, obedecendo aproximadamente a Figura 14, para os perfis de trilho mais empregados no Brasil, que são os perfis TR-57 e o TR-68.

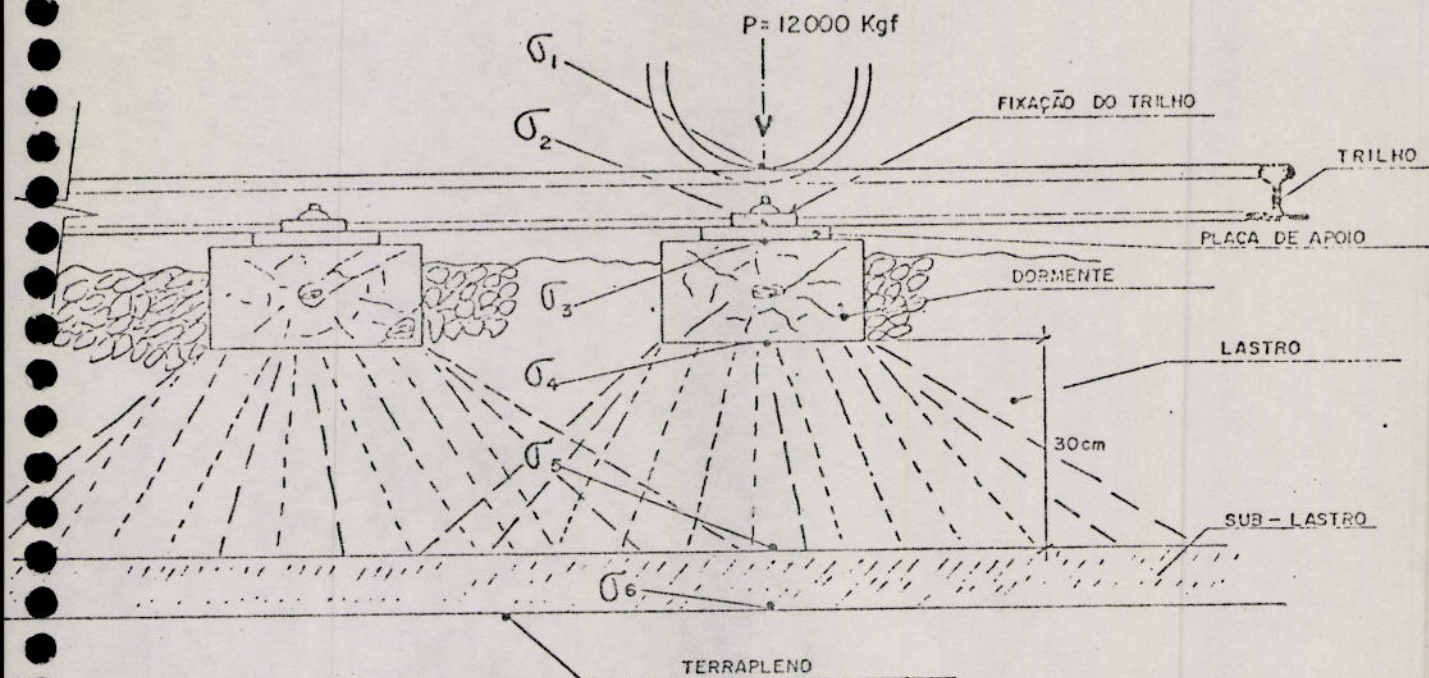


Figura 14 - Distribuição aproximada da carga através da superestrutura ferroviária

TABELA III

DISTRIBUIÇÃO APROXIMADA DAS TENSÕES ATUANTES EM FUNÇÃO DO PERFIL DO TRILHO CONFORME FIGURA 14.

TR-57	POSIÇÃO DA TENSÃO	TR-68
4000.0 kgf/cm ² ou maior	σ_1	4000.0 kgf/cm ² ou maior
45.0 kgf/cm ²	σ_2	38.0 kgf/cm ²
19.0 kgf/cm ²	σ_3	16.0 kgf/cm ²
6.0 kgf/cm ²	σ_4	5.0 kgf/cm ²
1.5 kgf/cm ²	σ_5	1.1 kgf/cm ²
0.8 kgf/cm ²	σ_6	0.6 kgf/cm ²

VII. RESUMO DOS ELEMENTOS BÁSICOS PARA O TRAÇADO DE VIAS

VII.1 - Concordância em Planta - Curva Circular

O traçado de uma via férrea em planta é constituído por trechos retos e concordadas por curvas, sempre consideradas no eixo das vias férreas. A concordância em planta mais simples é a curva circular, que é simples para seu emprego no projeto e de fácil locação no campo.

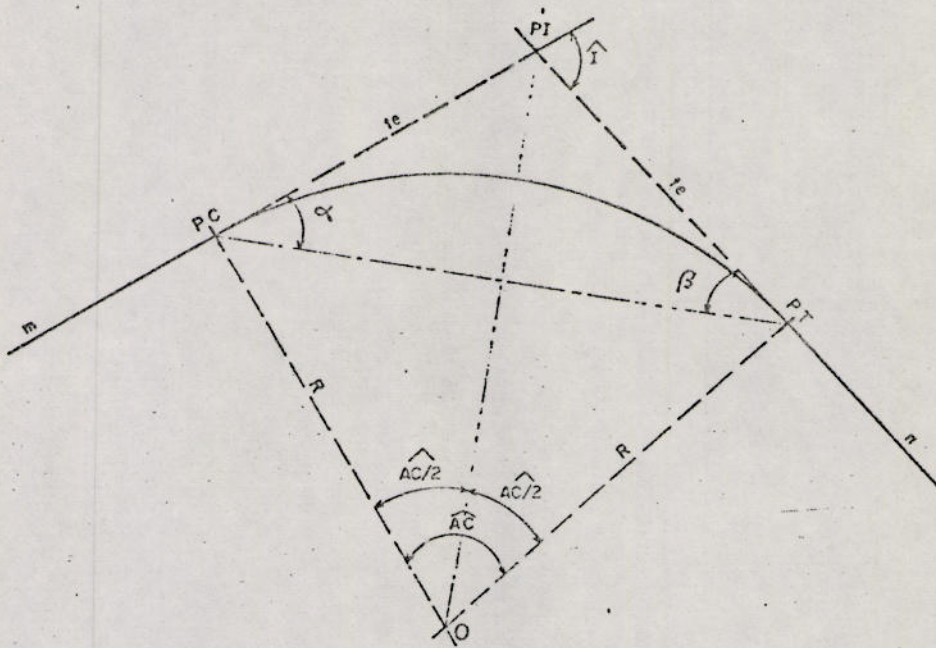


Figura 15 - Elementos da Curva Circular.

Chamemos de PI o ponto de intersecção dos alinhamentos retos m e n, também conhecidos por tangentes, que desejamos concordar com uma curva circular de centro O e raio R. O início da curva recebe o nome de PC - ponto de curva e o final de PT - ponto de tangente. O ângulo formado pelos raios é denominado de Ângulo Central - AC - que por sua vez será igual ao ângulo de deflexão I dos alinhamentos m e n. Os segmentos compreendidos entre o PC-PI e PI-PT são chamados de tangentes externas e são sempre de comprimentos iguais. Os segmentos do traçado sobre os alinhamentos m e n, situados antes do PC e depois do PT respectivamente, são conhecidos por tangentes interiores ou simplesmente de tangentes.

O raio de uma curva é escolhido pelo projetista e deve ser aquele que melhor se adapte às condições locais específicas, porém, nunca deve ser inferior ao raio mínimo de uma determinada estrada que, em geral, é fixado por normas oficiais da empresa e/ou pelo próprio governo.

Para facilitar a locação de uma curva circular estabelecemos o grau de curva - G - que é o ângulo central correspondente a uma determinada corda - C, onde

$$\frac{AD}{2} = \frac{C}{2} = R \sin \frac{G}{2} \quad \text{ou} \quad \sin \frac{G}{2} = \frac{C}{2R} \quad (1)$$

VII.4. Concordância em Planta com Curvas de Transição

VII.4.a - Introdução

Definimos como curvatura o inverso do raio de uma curva

$$C = \frac{1}{R} \quad (24).$$

Assim, uma curva circular apresenta em seu PC uma brusca variação na curvatura como podemos observar na Figura 21.

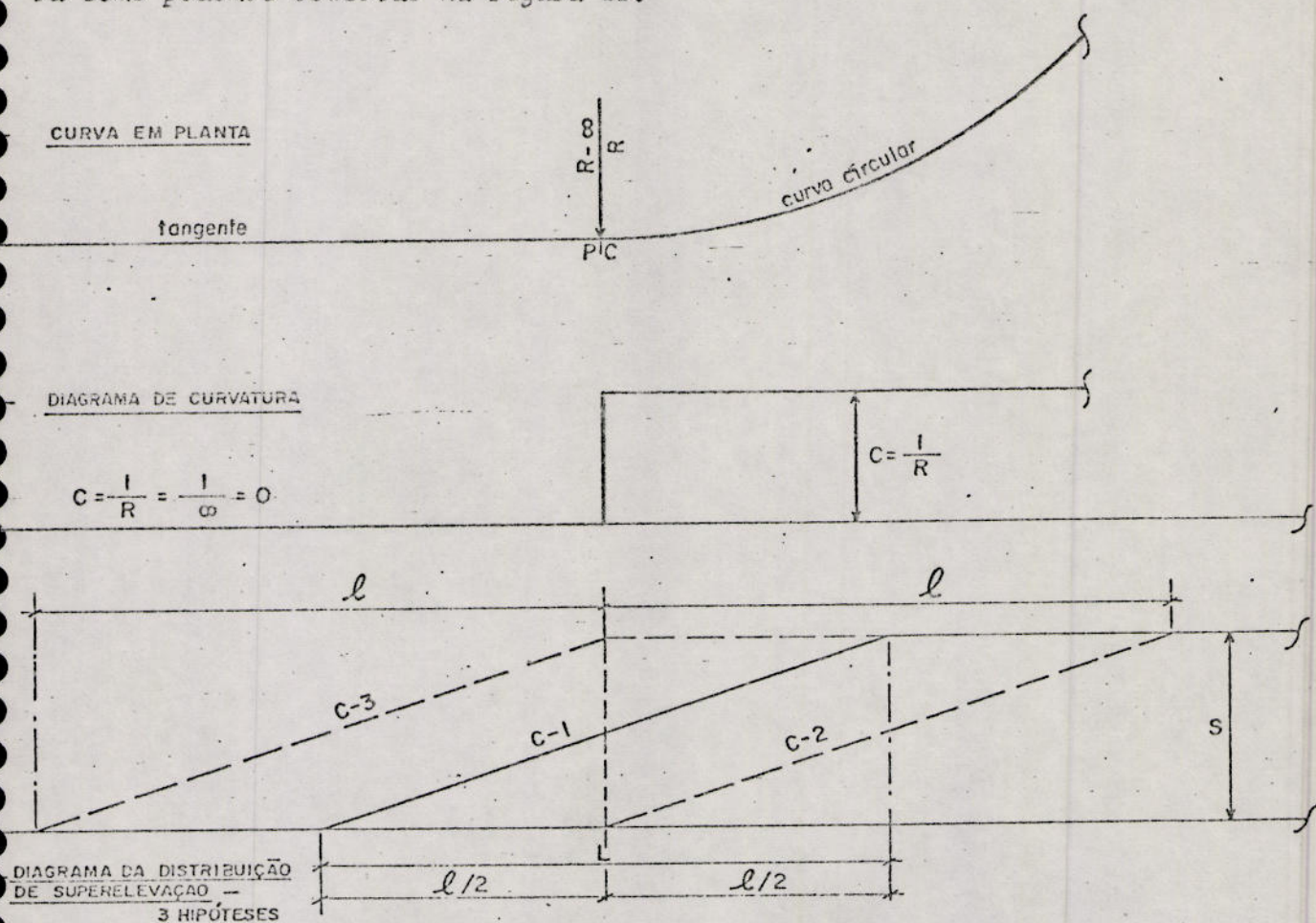


Figura 21 - Variação da curvatura numa curva circular e as três hipóteses de distribuição da superelevação.

Essa brusca variação na curvatura repercute sobre o passageiro e sobre a carga em intenso impulso, traduzido em desconforto sobre o passageiro. Para reduzir este efeito, e permitir percorrer a curva com velocidade maior, empregamos nas curvas, a superelevação, isto é, elevamos a fiada do trilho externo. No capítulo anterior aprendemos como calcular a superelevação, que é considerada ao longo de toda a extensão curva com seu valor integral e sua distribuição não pode ser feita instantaneamente requerendo, portanto, um certo compri-

mento = 1 - conhecido por rampa de superelevação. Estas rampas estudaremos su-
cintamente em outra parte de nosso curso. No caso da curva circular há três
hipóteses de se executar essa distribuição da superelevação, como mostramos
na Figura 21c.

- a.1) metade na tangente e metade na curva circular - esse procedimento é o
normalmente empregado no campo ferroviário e também no Brasil (Fig. 21c)
- a.2) totalmente compreendido na curva circular - esse procedimento prática-
mente não é empregado, pois muitas vezes absorve, quase que totalmente,
o desenvolvimento da curva circular e em alguns casos ela decresce
sem alcançar o nível máximo previsto (Figura 21 c).
- a.3) totalmente compreendido na tangente - esse procedimento é pouco utili-
zado, pois provoca grande deslocamento no centro de gravidade do car-
ro, quando ainda em tangente (Figura 21c).

Nenhuma dessas hipóteses satisfazem tecnicamente, pois não resolvem a ques-
tão da brusca variação da curvatura. Esta somente será resolvida se houver u-
ma variação, segundo uma lei em função do raio da curva, variando continuan-
te desde o infinito - ∞ - até o raio finito e determinado - R - da curva cir-
cular. O intervalo dessa variação recebe o nome de CURVA DE TRANSIÇÃO.

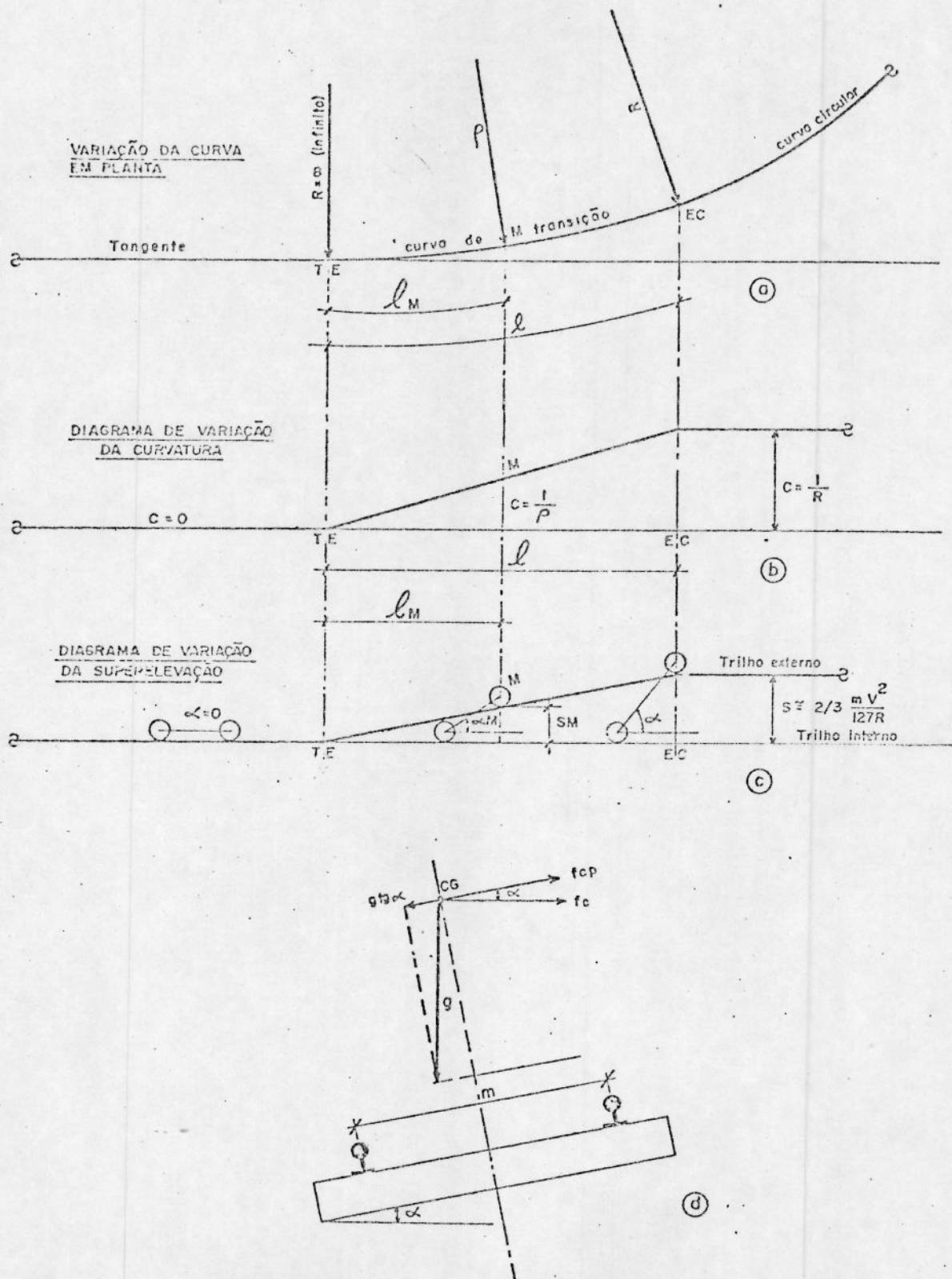


Figura 22 - Variação contínua da curvatura e da superelevação ao longo da curva de transição.

Voltando à expressão (54), ela pode ser expressa por:

$$i_M = Kl_M^2 - N' \quad (61)$$

Nesta expressão o ângulo i_M será expresso em minutos. Este ângulo permite estabelecer a deflexão para o ponto M qualquer da curva espiral. Os valores de K podem ser determinados pela expressão (57) e os de N' pela expressão (60). Os valores de K e N' são tabelados para simplificar os cálculos.

Para calcular o valor de i_M pela fórmula (61) basta tirar o valor de K da tabela (ou calculá-lo) e multiplicá-lo pelo quadrado do comprimento da espiral desde a origem até o ponto considerado. Para o cálculo de N' entramos com o valor de Kl_M^2 , achado anteriormente e reduzido a graus, entramos com este valor na tabela e achamos N' que é o fator de correção a ser considerado.

A deflexão total da curva espiral será obtido, se fizermos $l_M = l$ nas expressões anteriores.

O ângulo ΔT é geralmente pequeno para as ferrovias e quando for menor que 10° podemos desprezar o fator de correção. Nesse caso cometeremos um erro menor que 0,12 minutos. Este erro não é acumulativo, porque cada deflexão é independente do valor da deflexão anterior, difere portanto do método adotado na locação da curva circular.

Desprezando N' a expressão (61) fica simplificada

$$i_M = Kl_M^2 \quad (62)$$

Como vemos, o cálculo de uma curva de transição baseia-se em uma série de considerações matemática simplificadas. Nas expressões anteriores indicamos algumas dessas considerações. Poderíamos delongar ainda por muito tempo analisando caso por caso porém o nosso curso de curta duração não o permitirá. Convm salientar que, com estas noções preliminares será possível, a cada um dos senhores alunos, aprofundar mais e resolver os problemas de cálculo e locação das curvas de transição, além disso deve fazer parte, mais da cadeira de topografia ou de agrimensura do que da parte de ferrovia propriamente dito.

A questão das curvas de transição é um estudo tão amplo que praticamente pode ser considerado como um ramo à parte na tecnologia de campo. Desejamos ainda esclarecer que cada empresa ferroviária no Brasil adota seu próprio critério na definição de seus traçados.

VIII. CARACTERÍSTICAS DA SUPERESTRUTURA

VIII.1. Seção Transversal Típica

Denominamos de seção transversal típica aquela na qual definimos as dimensões mínimas que devem ser atendidas na construção da ferrovia. Estas dimensões devem ser conservadas durante a operação da ferrovia. O estabelecimento da seção transversal típica é muito importante, pois ela define o volume das obras de terraplenagem que, por sua vez, representam custos na execução da obra. Uma seção transversal típica de dimensões exageradas elevam os custos na execução da obra, podendo mesmo tornar inviável a sua execução, por não ser mais justificável economicamente.

Na Figura 29 mostramos vários casos de seção transversal típica para linhas férreas em via singela em reta e curva e em via dupla também em reta e curva. Nela indicamos algumas dimensões mínimas que devem ser atendidas. A dimensão "m" na banquetta lateral no topo do terrapleno tem a finalidade de apoiar os equipamentos de manutenção da via além de servir para a circulação de pedestres, ela serve também para evacuar o trem em caso de acidentes ou de paralização da composição no trecho e proteger a via da erosão pluviométrica. A largura "m" deve ser definida em função dos fatores mencionados e de características específicas de cada ferrovia, levando sempre em consideração os fatores econômicos.

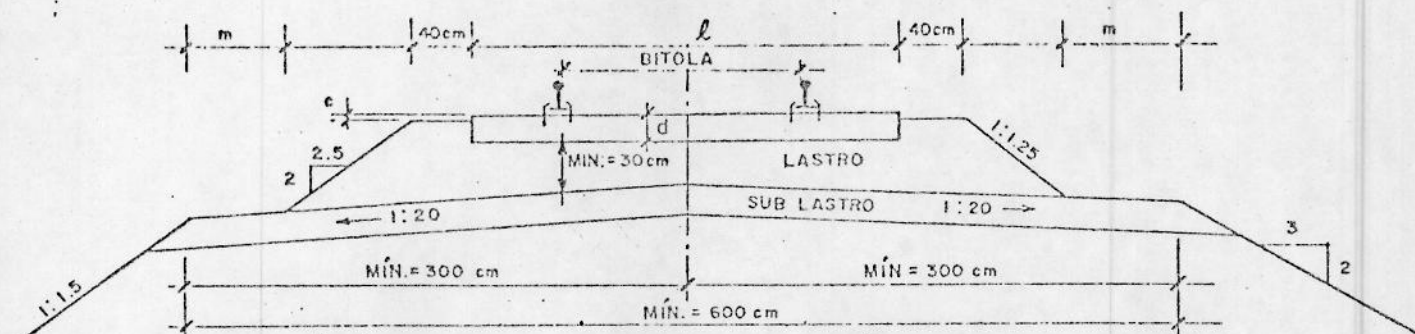
A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas em algumas de suas normas fixa algumas dimensões da seção transversal típica as quais devem ser obedecidas, servindo como diretriz nacional. No momento estas normas estão sendo revisadas, havendo, em breve, uma nova edição da ABNT para a seção transversal típica.

A seção típica transversal de uma via férrea deve prever também as necessidades de drenagem superficial, conduzindo as águas pluviais para fora do terrapleno empregando uma inclinação transversal de 1:20 - (5%) em geral, tendo-se empregado até hoje, a inclinação de 1:25 - (4%). As águas pluviais devem ser coletadas lateralmente ao longo da via e, de tempos em tempos, conduzidos para fora do terrapleno por meio de obras de arte especiais que impeçam a erosão.

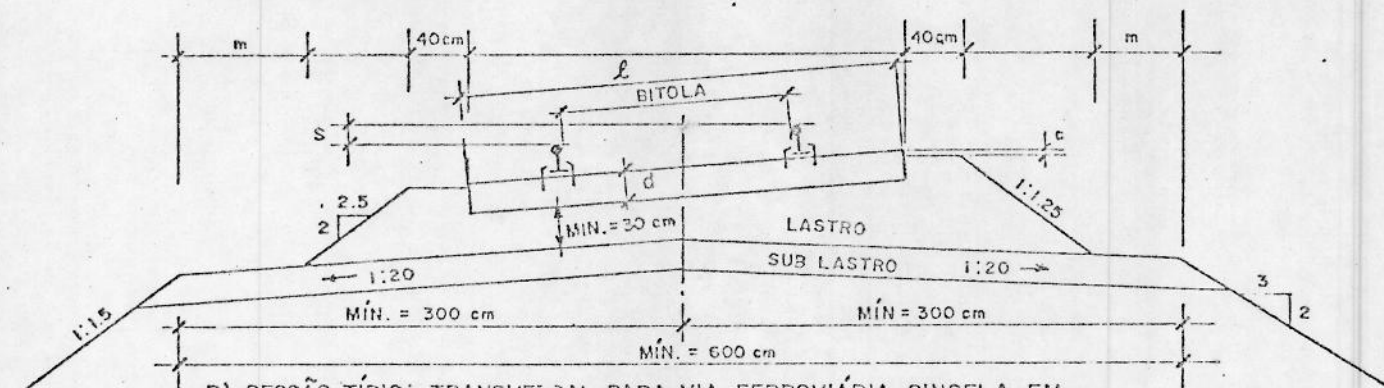
A seção típica transversal também deve ser adequada aos trechos de corte.

Em cortes longos e profundos, onde os declives são mínimos, devemos projetar adequadamente o escoamento das águas pluviais, requerendo, em muitos casos, projetos bem específicos de drenagem superficial e profundas.

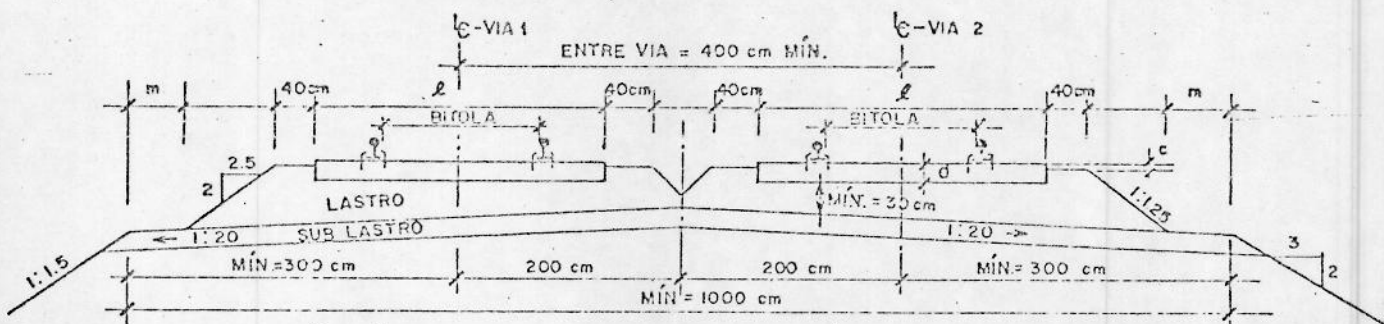
Todos estes fatos e ainda outros devem ser considerados quando estabelecermos as seções típicas transversais para uma ferrovia.



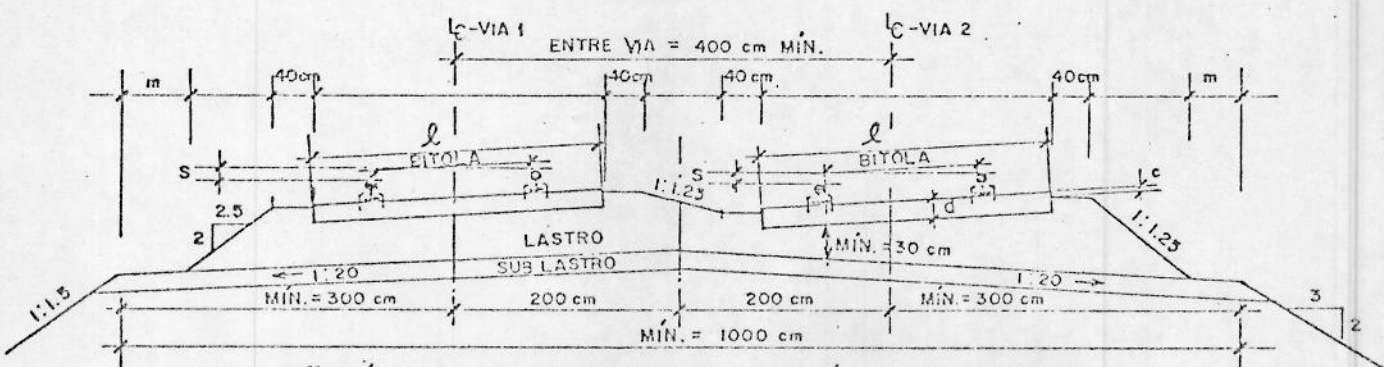
A) SECÇÃO TÍPICA TRANSVERSAL PARA VIA FERROVIÁRIA SINGELA EM TANGENTE E SEM SUPERELEVAÇÃO



B) SECÇÃO TÍPICA TRANSVERSAL PARA VIA FERROVIÁRIA SINGELA EM CURVA E COM SUPERELEVAÇÃO - S



C) SECÇÃO TÍPICA TRANSVERSAL PARA LINHA FÉRREA EM VIA DUPLA EM TANGENTE E SEM SUPERELEVAÇÃO



D) SECÇÃO TÍPICA TRANSVERSAL PARA LINHA FÉRREA EM VIA DUPLA E EM CURVA E COM SUPERELEVAÇÃO - S

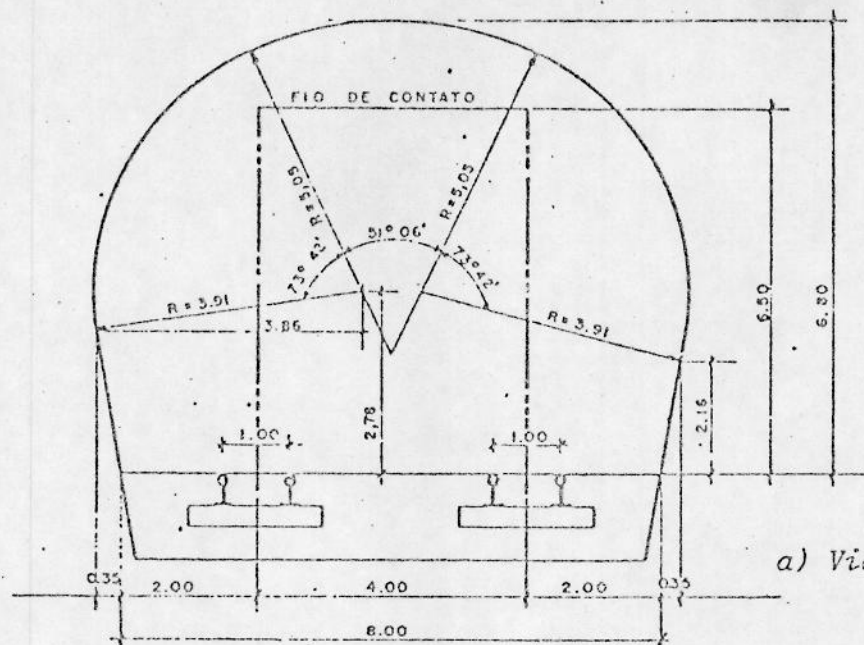
OBS.

l = COMPRIMENTO DO DORMENTE

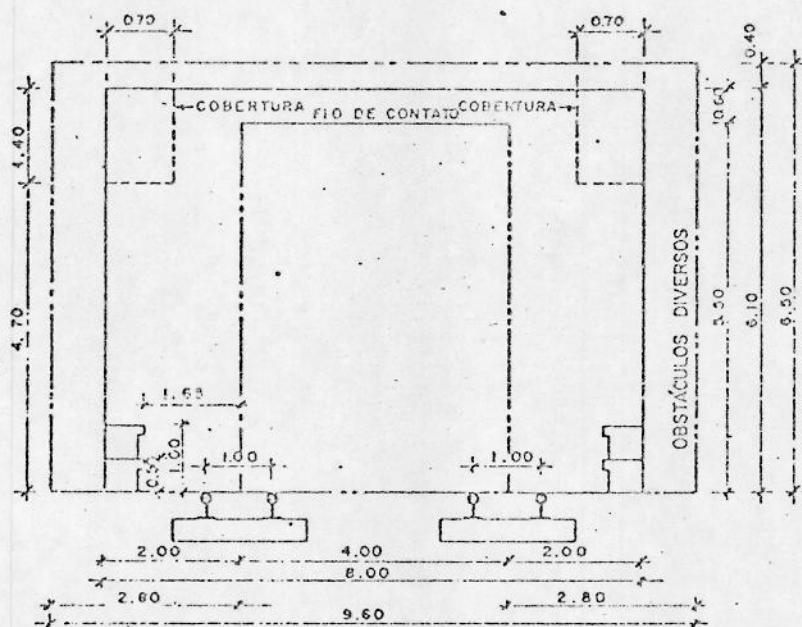
d = ESPESSURA DO DORMENTE

c = EM GERAL 3 A 5 cm SOB A SUPERFÍCIE SUPERIOR DO DORMENTE

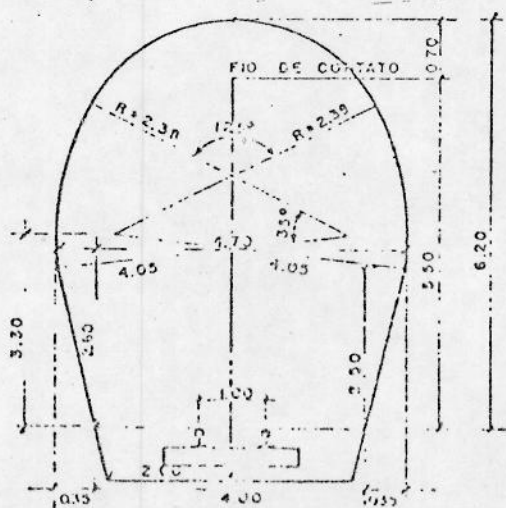
FIGURA 29 - ESQUEMA PARA DIVERSAS SECÇÕES TRANSVERSAIS TÍPICAS



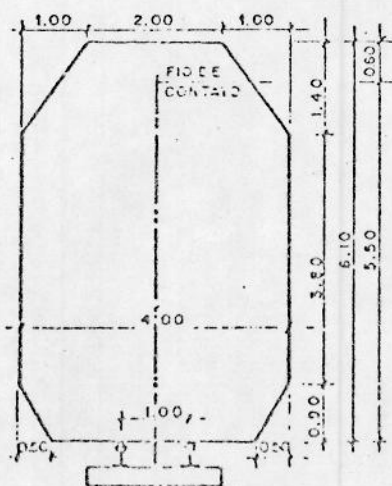
a) Via dupla em túnel



b) Via dupla em geral



c) Via singela em túnel



d) Via singela em geral

Figura 31 - Gabaritos de livre passagem de bitola métrica para via singela e vias duplas.

Como lembrete orientativo, o estudo de delimitação do gabarito é muito complexo e deve tomar por base um vagão-padrão, considerando sua inserção em curvas, tomando por base a parte central do veículo no lado interno da curva e nas extremidades do veículo no lado externo das curvas. É considerado o desgaste dos trilhos, das rodas, a ação das molas, torção do veículo em caso de molas quebradas, etc... As dimensões do vagão padrão são estabelecidas nas normas P-PB-527 e P-PB-528 da ABNT.

VIII.3. Bitolas

É a distância - b - da Figura 20, compreendida entre as faces interna dos boletos dos trilhos, medido perpendicularmente ao eixo longitudinal da via. No Brasil foram normalizadas 3 (três) bitolas, ou seja:

- a) A bitola métrica - b = 1.000 mm
- b) A bitola normal - b = 1.435 mm
- c) A bitola larga - b = 1.600 mm.

A bitola da via deve ser medida com exatidão, devendo-se, então, definir o ponto onde a mesma deve ser medida. O topo dos boletos dos trilhos formam o plano de referência sob o qual medem-se as bitolas. A bitola métrica é medida 12 mm sob este plano, a bitola normal a 14 mm e larga é medida a 15 mm. Convém lembrar que várias organizações ferroviárias fixam seus próprios critérios para definir a bitola, além de, também definir, as tolerâncias admissíveis, que por sua vez diferem de país para país, e com a velocidade diretriz adotada em suas vias férreas.

Embora seja permissível circular em ferrovias, cuja tolerância está situada em + 30 mm e -5 mm, quando a velocidade diretriz não exceder a 80 km/h. Estas tolerâncias admissíveis durante o uso, podem obedecer o critério apresentado na Tabela V, os quais deverão servir somente como uma diretriz, não constituindo uma regra rígida porque, cada organização ferroviária estabelece seus próprios princípios; como já afirmamos anteriormente:

TABELA V - Tolerâncias Admissíveis na Bitola em função da Velocidade

Faixas de Velocidades - Km/h	Tolerâncias admissíveis
Inferiores a 80	+ 30 mm e -5 mm
Entre 80 a 120	+ 15 mm e -5 mm
Entre 120 a 180	+ 10 mm e -4 mm
Superior a 180	+ 5 mm e -2 mm

No assentamento de vias novas, a tolerância admissível será de somente ± 2 mm seja qual for a velocidade diretriz da referida via; e no caso de recebimento

de serviços contratados a terceiros para a manutenção preventiva e/ou corretiva da via, este limite poderá ser aumentado para + 5 mm a 2 mm, descontado o desgaste nas curvas.

Em caso da ferrovia usar ainda super-largura nas curvas, esta deverá ser acrescentada à bitola e considerada como normal. Convém ressaltar que, a super-largura nas ferrovias está caindo em desuso, devido ao elevado custo dispendido para a sua correta ajustagem que, em geral, é feito manualmente, sendo por isso de difícil mecanização. Preferindo-se por esta razão recorrer ao maior desgaste nas rodas e nos trilhos.

A questão de bitola é muito controversa em todo o mundo. Existem atualmente ferrovias ativas operando em 27 bitolas diferentes, variando desde um mínimo de 381 mm. (1' - 3") até um máximo de 1676 mm (5' - 6"), que agrupados convenientemente permite-nos elaborar a Tabela VI, onde destacamos que a Europa e os Estados Unidos da América contribuem com 60% das ferrovias no mundo. Essa questão no Brasil também é muito complexa, impedindo maximizar o rendimento de nosso sistema ferroviário e, para melhor elucidar elaboramos a Tabela VII, atualizada em função do Anuário Estatístico das ferrovias brasileiras, de 1978.

A questão das bitolas no Brasil é o maior fator negativo do nosso sistema ferroviário contribuindo largamente para a não integralização das cargas.

A bitola predominante no mundo é a bitola normal ou 1.435 mm contribuindo com 64% das ferrovias mundiais. É sobre esta bitola que recai quase toda a tecnologia ferroviária e, para as demais bitolas executamos, na maioria das vezes, uma adaptação nos truques e rodeiros, para que possam circular em outras bitolas.

No caso de tráfego mútuo entre vias com bitolas diferentes a solução é intercalar um terceiro trilho do rolamento. Se a via predominante for de bitola métrica, o terceiro trilho será instalado lateral e externamente à via para atender a bitola de 1.600 mm. E no caso inverso o terceiro trilho será instalado no intervalo da bitola larga. A bitola mista é difícil de ser operada e de ser sinalizada. A dificuldade principal reside exatamente nos aparelhos de mudança de via e nos cruzamentos. Este assunto será abordado em capítulo a parte.

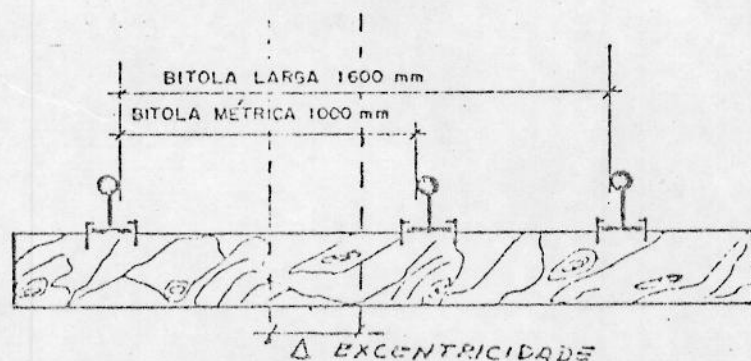


Figura 32 - Bitola Mista

TABELA VI

Distribuição das diversas bitolas existentes no globo terrestre nos diversos continentes

BITOLA MM		KM DE VIA NOS CONTINENTES						TOTAL POR GRUPO BITOLAS	%
DE	ATÉ	EUROPA	ÁSIA	ÁFRICA	AMÉRICA DO NORTE	AMÉRICA DO SUL CENTRAL	AUSTRÁLIA		
381	914	13.519	10.247	4.598	2.270	11.061	108	41.803	2,24
950	1.093	17.334	95.158	75.307	1.172	67.262	30.353	286.586	15,39
1.219	1.372	109	83	-	-	-	-	192	0,01
1.435	1.445	418.933	46.704	12.366	687.264	16.488	17.405	1.199.210	64,37
1.524	1.524	7.853	200.234	-	-	227	-	209.404	11,19
1.600	1.676	27.558	53.279	-	-	33.351	12.785	126.973	6,61
TOTAL POR CONTINENTE		435.356	405.795	92.271	690.706	128.389	60.651	1.863.168	X
%		26,05	21,78	4,95	37,07	6,89	3,26	X	100,00

TABELA VII

Distribuição das diversas bitolas existentes no Brasil nas empresas ferroviárias

BITOLAS MM	EMPRESAS						TOTAL	%
	RFESA	FEPASA	EFVM/CVRD	AMAPÁ	E.F. CAMPOS DO JORDÃO	VOTORANTIM		
760	202	-	-	-	-	-	202	0,68
1.000	21.711	3.522	782	-	47	15	26.077	87,30
1.435	-	-	-	194	-	-	194	0,65
1.600	1.736	1.661	-	-	-	-	3.397	11,37
TOTAL	23.649	5.183	782	194	47	15	29.870	X
%	79,17	17,35	2,62	0,65	0,16	0,05	X	100,00

VIII.4. Conicidade ou Inclinação dos Trilhos

Os trilhos devem ser assentados sobre os dormentes não na vertical, mas sim formando um pequeno ângulo em relação à mesma e dirigido para o eixo longitudinal da via. A esta inclinação damos o nome de conicidade, ou inclinação dos trilhos junto com o plano inclinado da roda forma um cone imaginário e no qual reside a base do deslocamento seguro dos veículos guiados pelos trilhos paralelos, que passam a funcionar como "cunhas". Esta conicidade é responsável pelo movimento de Lacet na ferrovia; faz com que o desgaste se dê em quase toda a largura da bandagem da roda, aumentando consideravelmente a vida útil das mesmas, devido ao retardamento da fadiga superficial do material.

A conicidade propicia ao mesmo tempo um melhor contato entre o trilho e a roda, aumentando a superfície de contato entre ambos, cuja influência é fundamental na conservação dos materiais do trilho e da roda.

Em geral a conicidade ou inclinação dos trilhos sobre a vertical, está compreendida entre 1:20 a 1:40. O Metrô de São Paulo, o Metrô do Rio de Janeiro, e a EFVM/CVRD dão preferência absoluta pela de 1:40. Algumas linhas da RFFSA, principalmente as de carga pesada e de tráfego intenso adotam também a inclinação sobre a vertical de 1:40. As demais linhas da RFFSA e a totalidade das linhas da FEPASA adotam a inclinação sobre a vertical de 1:20 nos trilhos.

A diferença em se adotar uma ou outra inclinação para os trilhos é muito pequena, havendo entrelaçamento dos resultados devido ao número elevado de parâmetros envolvidos. Existe, contudo, a tendência de se padronizar a inclinação de 1:40, pois apresenta maior segurança no trilho interno da via em curvas fechadas.

A título de curiosidade, os Estados Unidos estão estudando uma via com inclinação de 1:13, cujos resultados ainda são pouco conhecidos e por isso ainda não é possível externar opiniões conclusivas. Esta inclinação propicia um melhor contato entre roda e trilho, fazendo crer que haverá otimização no desgaste da roda e do trilho, mas facilita o tombamento do trilho interno de curvas fechadas, requerendo maior robustez das fixações.

VIII.5. Rampas de Superelevação

No estudo referente à superelevação e no da curva de transição indicamos a rampa de superelevação como sendo uma linha contínua desde o TE até o EC da curva dotada de transição. Na verdade esta é a configuração mais simples, a da rampa reta. Esta rampa pode ser executada por três maneiras distintas:

- a) Mantendo o trilho interno da via em sua cota normal, elevando-se o trilho externo de uma altura igual a da superelevação S , (Figura 33b)
- b) Mantendo o trilho externo da via em sua cota normal, baixando-se o trilho interno até uma profundidade igual a da superelevação S , (Figura 33c).

c) Elevando-se o trilho externo e abaixando-se o trilho interno, ambos simultaneamente de uma medida correspondendo à metade da superelevação $S/2$, (Figura 33d).

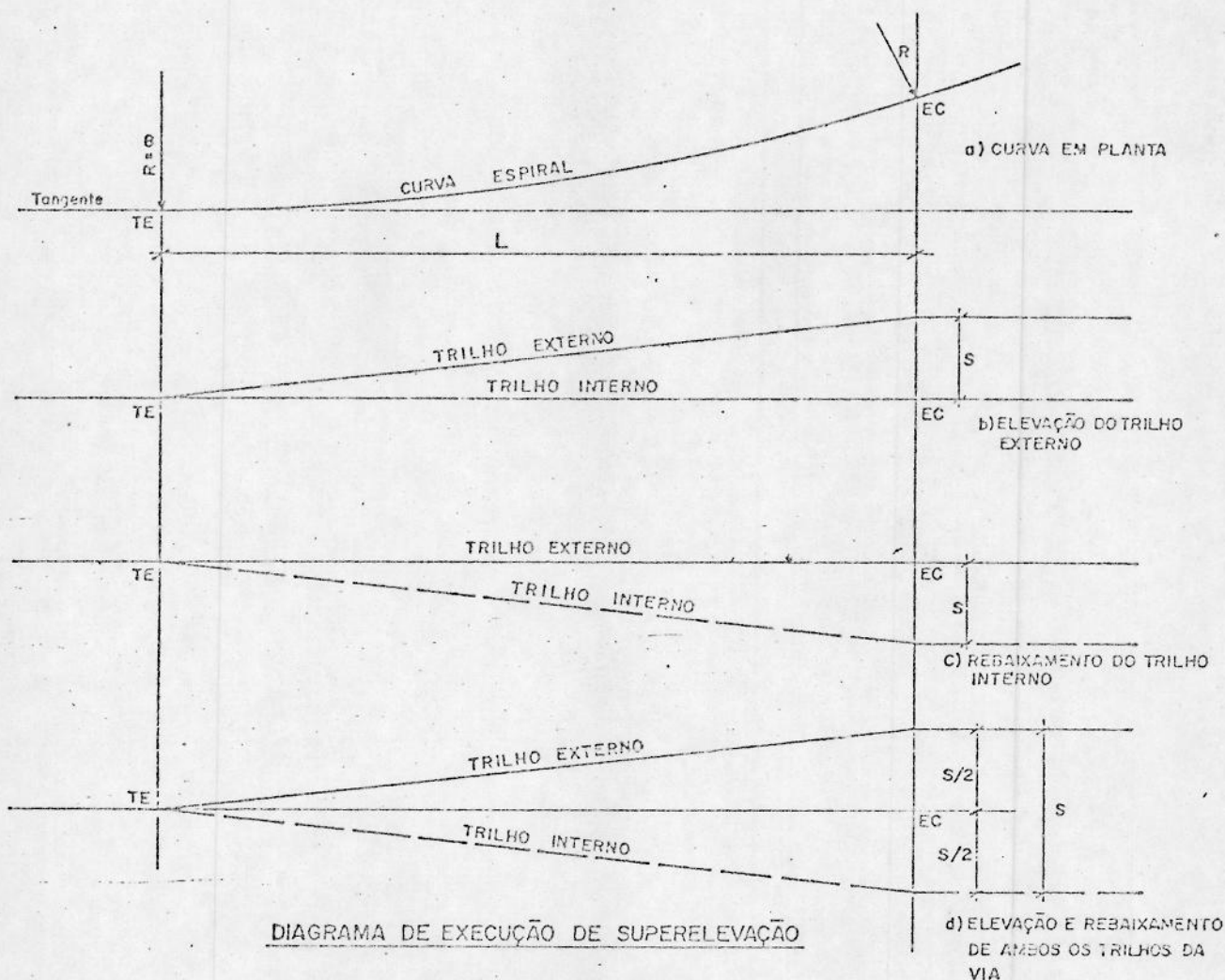


Figura 33 - Diagramas de execução da superelevação.

O caso a é o mais empregado por ser o mais simples de ser executado, permitindo um fácil controle. O caso b é de difícil execução e por isso praticamente não é usado.

O caso c é empregado na Suíça e, sob o aspecto de conforto e inscrição do veículo na curva, é o mais perfeito tecnicamente, pois mantém o centro de gravidade do veículo sempre na mesma altura. Esta rampa também é difícil de ser executada pelos processos mecânicos de manutenção da via, pois é sempre muito difícil fazer um abaixamento da via. O levantar da via é sempre possível, e por esta razão utilizamos o primeiro processo ou seja o a.

É lógico que a concordância da rampa de superelevação não se dá por pontos angulosos em TE ou EC, pois esta prática seria incorreta, uma vez que teríamos uma aceleração vertical iniciada e terminada bruscamente. Por esta razão a rampa de superelevação na realidade não é reta e sim uma curva reversa compos

ta como indicado na Figura 34, sendo conhecido por rampa de concordância curvada.

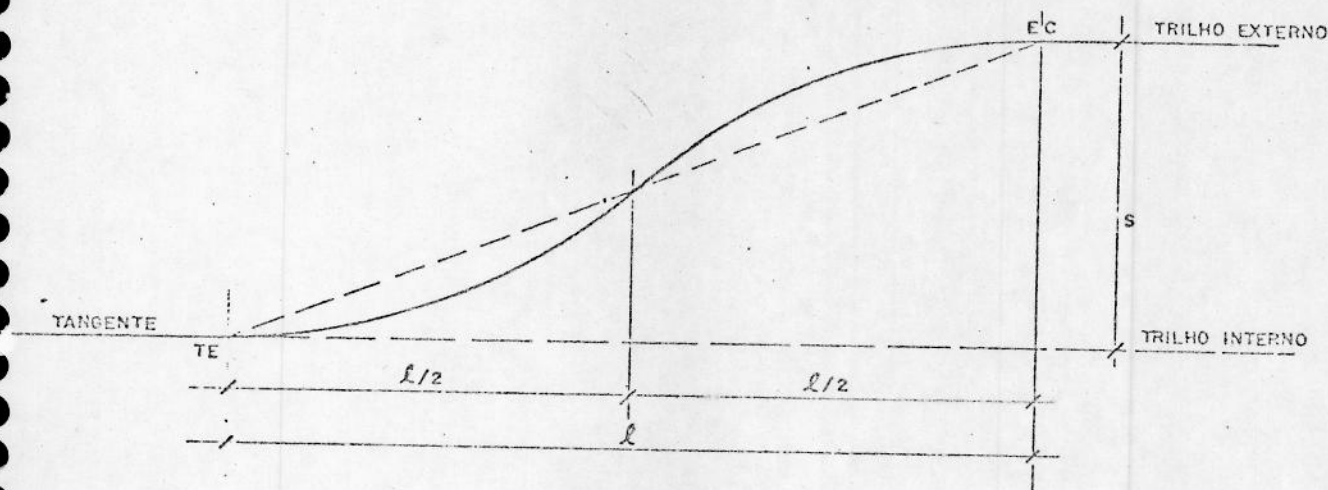


Figura 34 - Rampa de superelevação no trilho externo da via em curva, executado na forma de rampa de concordância curvada.

A inclinação da rampa de superelevação nunca deve ultrapassar de 1:400, sendo na Europa limitado em 1:10 V, sendo V em km/h, excepcionalmente poderá ser 1:8 V.

VIII.6. Rampas

Todo e qualquer tipo de estrada tem necessidade de vencer obstáculos geográficos que possuam alturas diferenciais. Estas diferenças de alturas são vencidas por rampas ao longo do desenvolvimento do traçado da estrada. As rampas são conhecidas também por greides ou gradientes. Os greides são geralmente retos e definidos pela tangente do ângulo formando com a horizontal e expresso em percentagem, para tanto multiplicamos o valor numérico da tangente por 100 - %. Na Europa é comum multiplicar o valor numérico da tangente por 1000 - 0/00.

Tomando a orientação da quilometragem crescente da estrada, costumamos chamar de greides ascendentes ou aclives aqueles que vencem alturas, conhecidos vulgarmente por "subidas". Convencionou-se designar os aclives com o sinal de + ou positivos. No caso de greides descendentes ou declives teremos aqueles que perdem alturas e vulgarmente conhecidos por "descidas"; que convencionamos designar com o sinal - ou negativo.

Quando não há aclive ou declive estamos no caso de greide em nível conhecido por trechos planos ou em nível.

Os aclives e declives nas ferrovias são mantidos sempre pequenos para possibilitar rebocar grandes volumes de carga. À medida que os greides crescem, de-

crece a capacidade de reboque de uma mesma locomotiva. Ou em outras palavras a intensidade do greide positivo ou aclave é inversamente proporcional à capacidade de reboco de uma locomotiva.

Geralmente numa ferrovia os aclives e os declives são da mesma ordem em ambos os sentidos de tráfego, permitindo transportar o mesmo volume de carga nos dois sentidos.

Nem sempre o volume de carga a transportar é de igual intensidade nos dois sentidos. Existem casos em que o volume de carga do litoral para o interior ou sentido de importação é menor que o do interior para o litoral ou sentido de exportação. Neste caso os trens circulam com carga parcial no sentido de importação e retornam repletos no sentido de exportação. Este caso é comum nos corredores de exportação ora em fase de implantação no Brasil. O caso mais comum ocorre nas estradas de ferro que transportam minerais destinados à exportação. Neste caso temos a Estrada de Ferro Vitória a Minas - EFVM - que adota, em sua ferrovia, a rampa máxima compensada de 1,0% no sentido de importação e 0,3% no sentido de exportação em sua linha principal que liga a região das minas de minério de ferro, no Estado de Minas Gerais ao Porto de Tubarão, no Estado do Espírito Santo. Outro exemplo é o da Linha Centro, da RPPSA que está sendo preparada para o transporte do minério de ferro no Estado de Minas Gerais para o porto de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro. Outro exemplo é o da Estrada de Ferro, no Território do Amapá, que transporta o minério de manganês da Serra do Navio ao Porto de Santana nas proximidades de Macapá. Esta característica será adotada em todos os corredores de exportação e empreendimentos voltados para a exportação com grande volume de carga, sendo que este transporte é predominantemente unidirecional.

Dessa forma conseguimos reduzir o consumo de combustível para um mesmo volume transportado, resultando em economia de divisas para o país.

O termo rampa máxima compensada é extremamente importante; pois, um trem ao percorrer uma curva, esta oferece uma certa resistência ao deslocamento do trem que cresce à medida que a curvatura cresce, ou seja: - "A resistência ao deslocamento de um trem é diretamente proporcional à curvatura". Este fato ocorre nos trechos em greide ascendentes, em greide nulo ou trecho em nível e em greide descendente. Por isto, procuramos em greides ascendentes independente do sentido da estrada, compensar a resistência ao deslocamento do trem na curva com uma diminuição equivalente na rampa geométrica como indicado na Figura 35. Com isso procuramos manter constante a capacidade de reboque da locomotiva ao longo de toda a rampa.

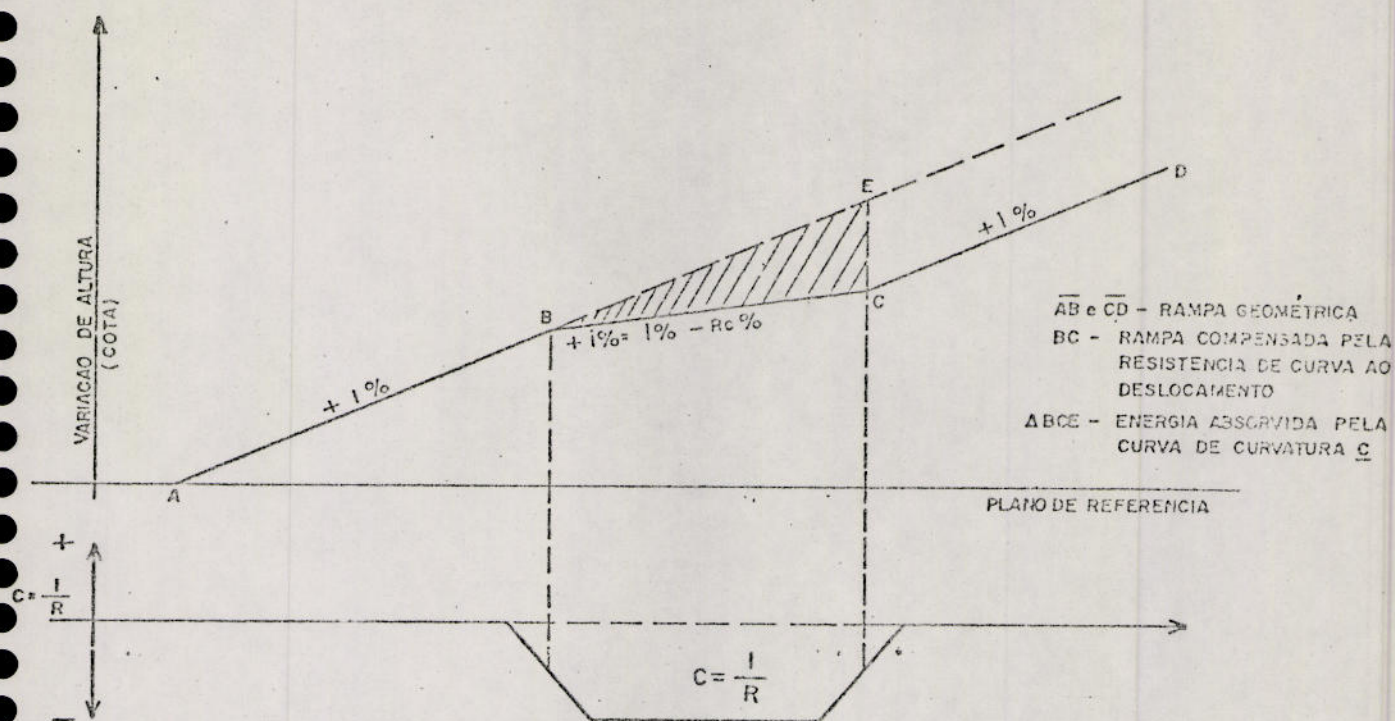


Figura 35 - Diagrama de uma rampa de igual resistência ao deslocamento através de uma curva de curvatura c .

Os metrôes, de um modo geral, adotam a rampa máxima de 4% em ambos os sentidos do tráfego sem a compensação da resistência de curva, isso porque, todos os eixos dos carros metroviários são tratores e portanto não rebocam carga, possuindo capacidade suficiente para a sua necessária aceleração.

VIII.7. Concordância Vertical

A concordância vertical ou projeto da estrada em perfil é a concordância dos diversos greides com a intercalação de uma das curvas clássicas à semelhança do que se faz com a concordância em planta. Por isso o começo da curva vertical é designado por P.C.V. - ponto de curva vertical e seu final P.T.V. - ponto de tangente vertical, sendo que a interseção dos dois greides é designado por P.I.V. - ponto de interseção vertical, como mostramos na Figura 36.

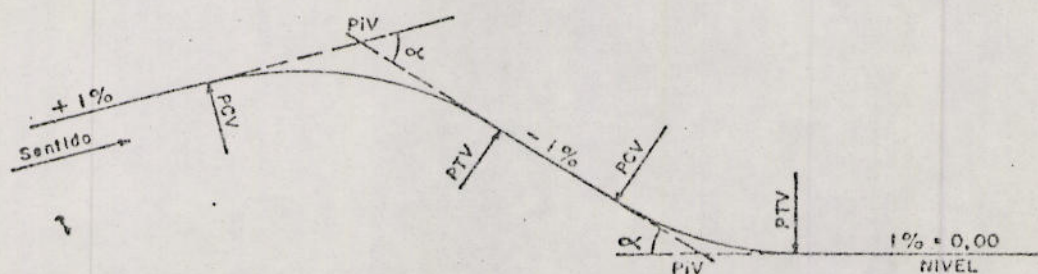


Figura 36 - Esquema ilustrativo da concordância em perfil

VIII.8. Resistência ao Movimento dos Trens

A resistência ao deslocamento dos trens compõem-se de várias parcelas, sendo as principais, aquelas que enumeramos abaixo:

- a) Resistência ao movimento dos trens ou resistências ao rolamento, que são aquelas consideradas, estando o trem em tangente e nível-Rr -, conhecidos também como resistência normal.
- b) Resistência de rampa - Ri .
- c) Resistência de curva ou de curvatura - Rc.
- d) Resistência à variação da aceleração - Ra.

Assim sendo, a resistência do trem ao seu deslocamento pode ser expresso por:

$$R_t = R_r + R_i + R_c + R_a = T \quad (84)$$

onde T representa a mínima força de tração necessária para deslocar um trem que possua uma resistência total R_t . Podemos afirmar que T é a força horizontal que uma locomotiva deve possuir para rebocar um trem,

VIII.9. Trem Tipo

Denominamos de trem tipo ao conjunto de cargas, de grandezas e espaçamentos padronizados, para o qual dimensionamos as estruturas de uma estrada.

O trem tipo de uma determinada ferrovia serve para o dimensionamento de suas pontes, viadutos, pontilhões, bueiros, terraplenos, etc... O mesmo critério será válido para os sistemas metroviários.

O trem tipo para as estradas de ferro brasileiras são designados pelo prefixo TB, seguido de um número, que indica a carga aderente. Os trens-tipo brasileiros - TB's - são normalizados por órgãos oficiais como a ABNT, o antigo DNEF, etc... Estes órgãos recomendam os trens-tipo que deverão ser obedecidos na construção de uma nova ferrovia ou metróvia em função da classe e da bitola. Assim, as normas em vigor e atualmente em reestudo e revisão, indicam que o trem tipo para bitola larga - 1600 mm, deve ser o TB-32 para os troncos principais e o TB-27 para os troncos secundários. Para a bitola estreita, ou métrica - 1000 mm, indicam o TB-20 para os troncos principais e o TB-16 para os troncos secundários. Portanto, os trens-tipo brasileiros oficializados são quatro: TB-16, TB-20, TB-27 e TB-32, todos definidos na NB-7 da ABNT.

De um modo geral, estes trens-tipo não atendem mais as atuais necessidades do transporte de carga de nossas ferrovias, dificultando a intercambiabilidade das cargas deslocadas. Além disso, não atendem principalmente as ferrovias que se dedicam ao transporte de minerais, como por exemplo a EFVM da CVRD, e a linha ferroviária da RFFSA, que liga o quadrilátero ferrífero no Estado de Minas Gerais ao porto do Rio de Janeiro e Sepetiba no Estado do Rio de Janeiro. E uma série de outros casos isolados e outros em estudos na nossa malha ferroviária em expansão para o transporte de carga.

Um dos maiores exemplos de intercambiabilidade de cargas e de carros de passageiros, foi alcançada pela "Unión Ferroviária Centro Européia" que integram quase todos os países europeus. Eles adotaram, já em 1930 os trens-tipo N, E e G das ferrovias alemãs. Estes foram posteriormente revisados em comum consenso dos demais participantes da União no ano de 1950; sendo atualmente o principal parâmetro no dimensionamento de pontes ferroviárias na Europa. Depois de algumas restrições passou a ser considerado pela UIC.

No caso do trem tipo N, o mais pesado dos trens, este considera duas locomotivas sucessivas - Figura 41 a - seguidos ou precedidos de 10 vagões pesados - Figura 41 b - totalizando 8,0 t/m. O trem tipo E considera duas locomotivas - Figura 41 c - com tender seguido ou precedido por 10 vagões pesados de marca-

TABELA XI



Trem-tipo Americano e Brasileiro

TREM- -TIPO AMERI- CANO	CARGA SOBRE O EIXO GUIA DA LOCOMOTIVA		CARGA SOBRE OS EI- XOS MOTORES DA LO- COMOTIVA		CARGA SOBRE OS EI- XOS DO TENDER		CARGA UNIFORME- MENTE DISTRIBUI- DA	
	- A -		- B -		- C -		- D -	
	lbs.	kgf.	lbs.	kgf.	lbs.	kgf.	lbs/pé	kgf/m
E-27	13.500	6.124	27.000	12.247	17.550	9.960	2.700	4.000
E-30	15.000	6.808	30.000	13.608	19.500	8.845	3.000	4.470
E-35	17.500	7.938	35.000	15.876	22.750	10.319	3.500	5.200
E-40	20.000	9.072	40.000	18.144	26.000	11.794	4.000	5.960
E-45	22.500	10.206	45.000	20.412	29.250	13.268	4.500	6.700
E-50	25.000	11.340	50.000	22.680	32.500	14.742	5.000	7.450
E-55	27.500	12.474	55.000	24.947	35.750	16.216	5.500	8.200
E-60	30.000	13.608	60.000	27.215	39.000	17.690	6.000	8.940
E-65	32.500	14.742	65.000	29.484	42.250	19.164	6.500	9.680
E-70	35.000	15.876	70.000	31.752	45.500	20.638	7.000	10.430
E-75	37.500	17.010	75.000	34.020	48.750	22.112	7.500	11.170
E-80	40.000	18.144	80.000	36.288	52.000	23.586	8.000	11.920
TREM- -TIPO BRASI- LEIRO	kgf		kgf		kgf		kgf/m	
TB-16	8.000		16.000		11.000		5.000	
TB-20	10.000		20.000		15.000		6.000	
TB-27	14.000		27.000		18.000		9.000	
TB-32	16.000		32.000		21.000		10.000	
TB-36	18.000		36.000		24.000		12.000	

IX. ELEMENTOS COMPONENTES DA SUPERESTRUTURA

Compreendemos por superestrutura ferroviária, como já afirmamos, todos os elementos componentes de uma ferrovia situados acima das obras de terraplenagem. Abstendo-nos dos componentes da sinalização e de suas obras, da eletrificação e da comunicação, ela se compõe, entre outras, das seguintes partes principais:

- Trilho
- Dormente
- Fixação do trilho ao dormente
- Lastro
- Sub-lastro.

Mais adiante dissertaremos sobre cada um desses elementos concentrando a nossa atenção sobre o trilho, por constituir-se no elemento mais importante e caro, porém, antes torna-se necessário descrever alguma coisa de como a carga do veículo atua sobre a via em tangente e em curva.

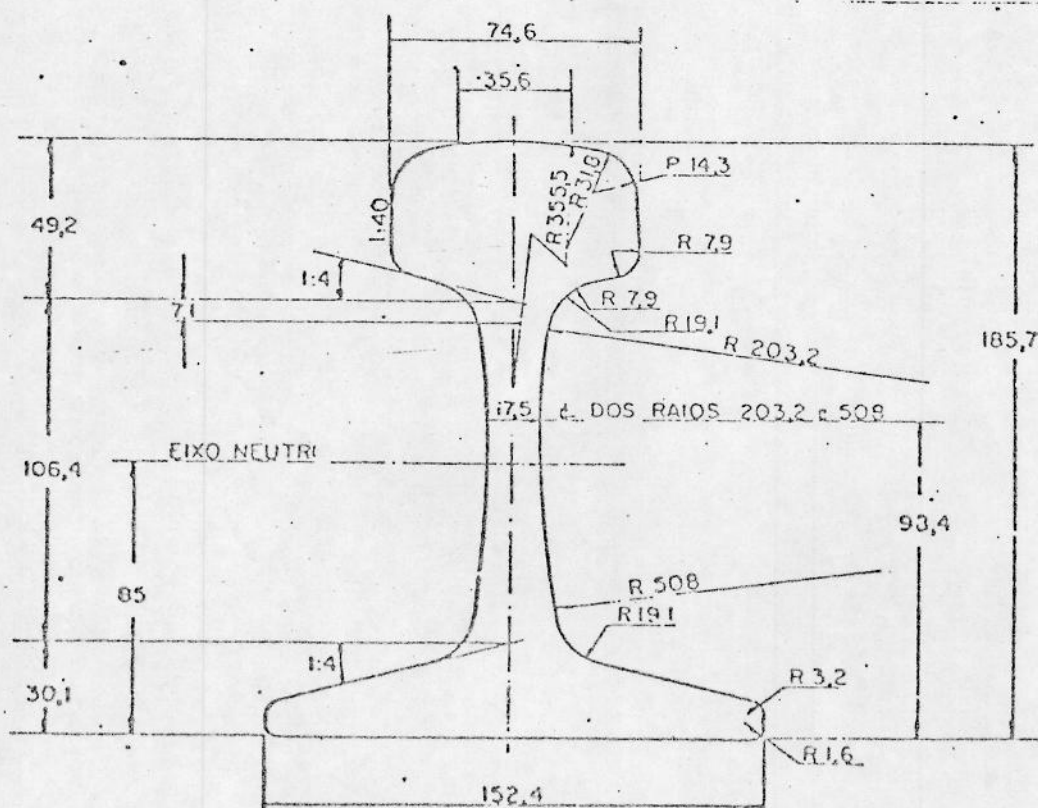
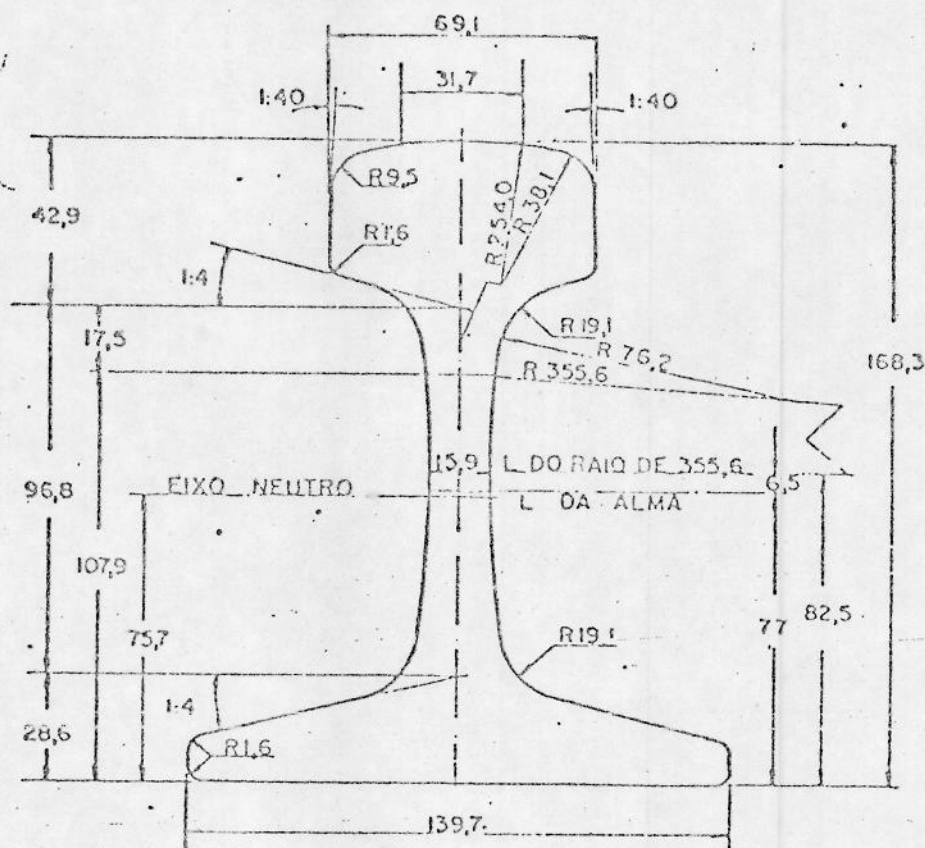
X.2. Trilho

O trilho é o principal elemento da superestrutura da via permanente, constituindo-se em excelente pista de rolamento, possui a necessária e suficiente capacidade de suporte, permitindo uma conveniente distribuição da carga recebida das rodas aos dormentes vizinhos sem que o trilho sofra deformações permanentes. O trilho deve apresentar boa resistência ao desgaste, além de ser um econômico elemento construtivo, quando analisado em função da carga rolada sobre o trilho. Algumas de suas qualificações podem comprometer as outras, devendo-se, neste caso, usar o bom senso na escolha apropriada do perfil e do material, adequando-o da melhor maneira possível a uma determinada função da ferrovia, procurando sempre obedecer o que estabelecem as normas oficiais ou da própria estrada de ferro.

O trilho ferroviário, quando analisado como um todo, em sua seção transversal que é conhecida como perfil, é composto de três partes fundamentais, a saber:

- a) Boleto - é a própria pista de rolamento da ferrovia, deve ser massudo para poder ser desgastado dentro de certos limites sem afetar a inércia do trilho; deve possuir raios de arredondamento tais, que se possam adaptar ao perfil de desgaste médio das rodas, a fim de proporcionar a máxima superfície de contato junto à roda, para minimizar a distribuição da pressão, e reduzindo conseqüentemente o seu desgaste. Em estudos elaborados pelo Eng^o Heumann e depois confirmado pela UIC recomendam que o raio de arredondamento do boleto, no canto da bitola, deve ser de 13 a 14 mm.
- b) Alma - é o elo de ligação entre o boleto e o patim, ela não deve ser muito fina, a fim de garantir adequada resistência e rigidez transversal, possuir condições para resistir à corrosão atmosférica e deve evitar a formação de trincas.
- c) Patim - é a base de apoio do trilho. Esta não deve ser muito fina na sua extremidade, a fim de se manter reduzido o nível de tensões residuais decorrentes do resfriamento diferenciado, durante a sua produção, entre o boleto e o patim, que mesmo assim já são bastante elevadas. A espessura nas extremidades laterais do patim deve ter uma tolerância de $\pm 0,5$ mm, a fim de não interferir com os elementos elásticos da fixação dos trilhos. A largura do patim deve possuir, de preferência uma tolerância que não ultrapasse de $\pm 1,0$ mm, a fim de garantir um bom assentamento sobre a placa de apoio sem deixar grande folga, permitindo perfeito ajuste de bitola.

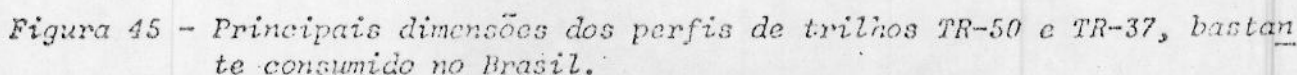
PERFIL DO TRILHO
TR-57

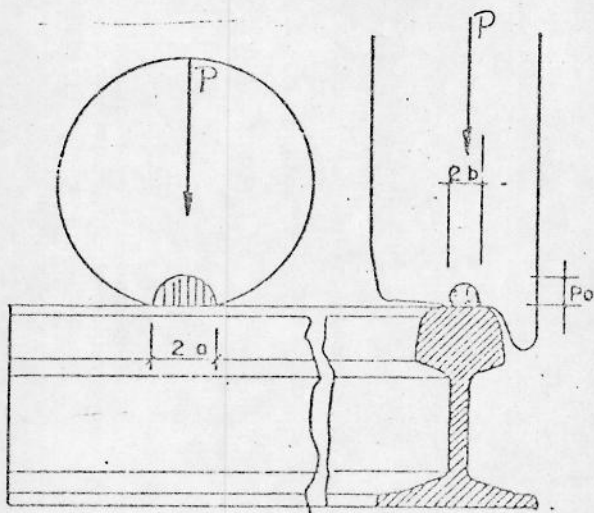
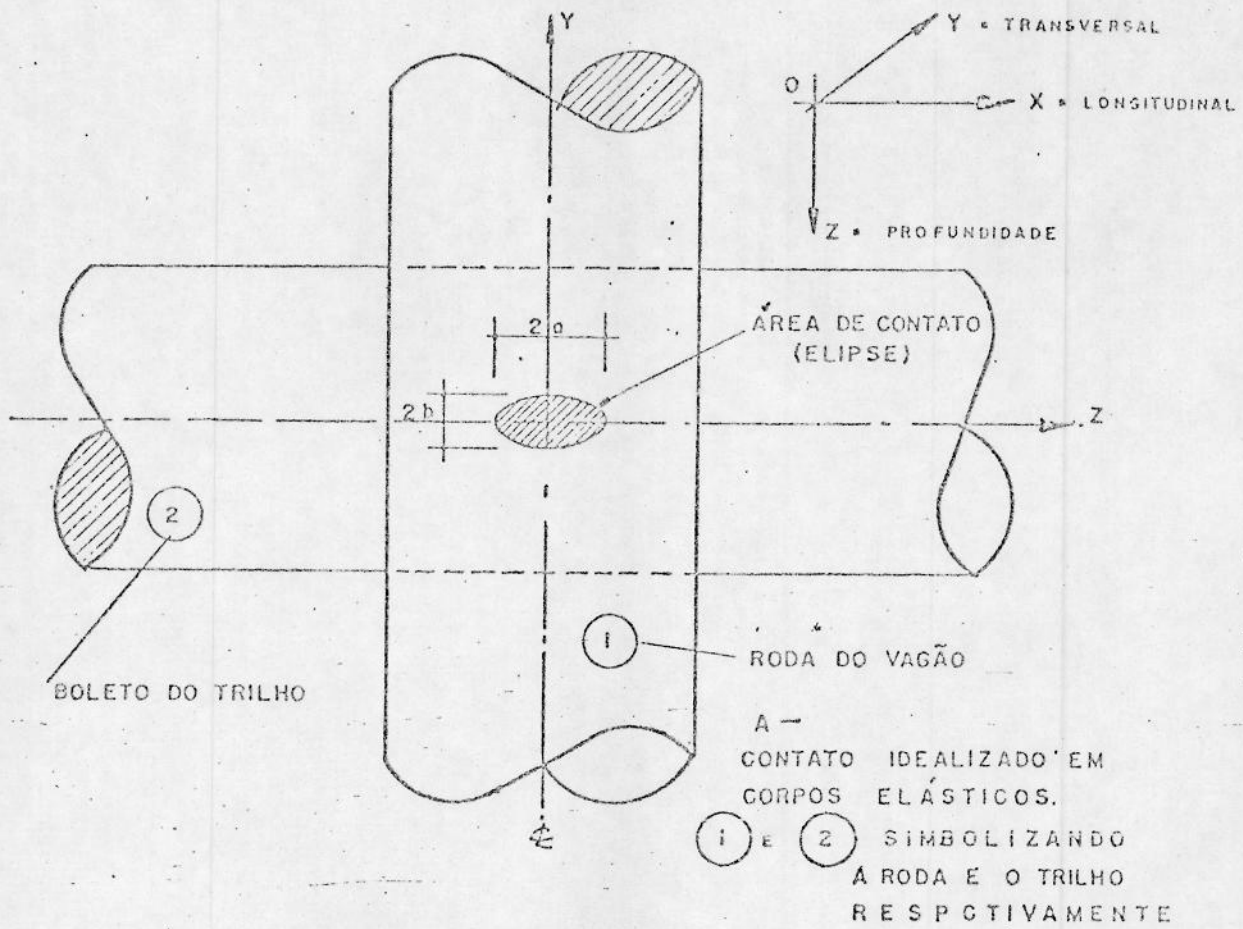


PERFIL DO
TRILHO
TR-68

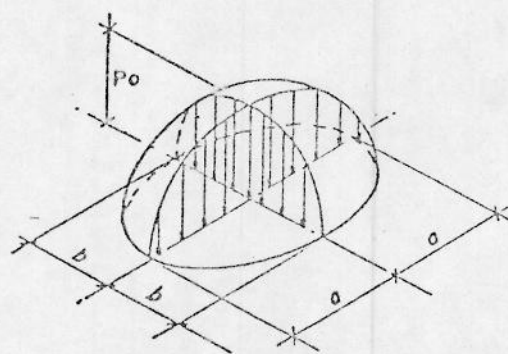
Figura 44 - Principais dimensões dos perfis de trilhos TR-57 e TR-68 que são mais consumidos no Brasil, em toneladas.

É tendência geral no Brasil reduzir o número de perfis de trilhos para diminuir a grande diversificação no mercado nacional, no que diz respeito a via permanente. No nosso entender, três perfis de trilhos seriam mais que suficiente, que deveria ser o TR-45, o TR-57 e o TR-68, pois qualquer outro perfil intermediário não se justifica técnica e economicamente. Portanto os esforços deveriam ser dirigidos neste sentido com real proveito para o país.





B - DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO NO SENTIDO LONGITUDINAL-X-, E TRANSVERSAL-Y-



C - ELIPSÓIDE TEÓRICO DA DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO

Figura 46

CONTATO ENTRE DOIS CORPOS DE CURVATURA QUALQUER MOSTRANDO A SUPERFÍCIE E A DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO NA MESMA

X.2. Contato Roda-Trilho

Todos dos esforços atuantes que acabamos de citar são transmitidos da roda para o trilho e reciprocamente do trilho para a roda, exercendo uma pressão de contato entre ambos. O estudo da pressão de contato entre dois corpos elásticos e de curvatura aleatória é feito pela teoria de Hertz, que no nosso caso forma uma elipse de contato com uma área do tamanho médio da unha do dedo polegar de um adulto. Nessa pequena área forma-se um elipsóide de pressão que apresenta uma pressão numa na periferia e máxima no centro, geralmente de tensão superior ao do limite de escoamento - σ_e - do material do trilho, como mostramos na Figura 45 c.

X.3. Aço de Trilho

Para satisfazer as solicitações a pouco apresentadas, é necessário que o material do trilho seja resistente e de qualidade uniforme ao longo de seu comprimento. Portanto, deve ser um aço de alta qualidade, de composição química homogênea, isentos de inclusões não metálicas, isento de vazios, de trincas térmicas, ou seja, todas as características que possam influir nas propriedades mecânicas. Além disso desejamos que tenha elevado limite de escoamento (σ_E) e elevada resistência à ruptura (σ_R), sem desprezar o alongamento que também deve ser o maior possível, pois este quando reduzido, tem enorme influência no aparecimento da fadiga superficial.

Os elementos químicos dos trilhos devem ser dosados de tal forma que, possam atender às condições de soldabilidade dos mesmos, quer seja em estaleiro, quer seja no campo. Nesta operação de soldagem transformamos os trilhos curtos (12m) em barras de trilhos soldadas continuamente produzindo barras de 120 m ou 240 m, reduzindo-se, assim, consideravelmente as juntas na via permanente.

X.4. Desgaste do Trilho

O desgaste no trilho ocorre devido ao atrito sob pressão que as rodas exercem sobre o trilho, ou melhor, pela ação mecânica entre o friso das rodas e os boletos dos trilhos. Roda e trilho não devem ser de mesma dureza. A vida útil ideal do trilho deveria ser aquela em que o mesmo fosse substituído pelo desgaste natural do uso e não por falhas de outra natureza.

X.5. Soldagem dos Trilhos

Os trilhos novos são fornecidos em barras curtas, em geral 12 m, as quais são soldadas em barras em comprimentos múltiplos de 12 metros. Nas soldas de topo desejamos obter uma união perfeita, uma uniforme superfície do rolamento e uma base do patim contínua, isto é, sem rebarbas. As soldas não devem apresentar dobra ou empeno na área de sua influência, devendo ainda possuir, sempre que possível, a mesma resistência do trilho.

A via permanente de uma ferrovia de intenso tráfego e possuindo trilhos curtos, recaem sobre as juntas uma parcela de aproximadamente 30 e 40% das despesas de manutenção da via permanente. Por isso todos os esforços são dispendidos para reduzir o número de juntas na via férrea. Para isso existem vários processos, que a seguir descreveremos.

X.6. Talas de Junção

Os trilhos são fornecidos pelas companhias siderúrgicas em barras curtas, geralmente de 12 m no Brasil. Na Europa já são produzidos trilhos nos comprimentos normais de 18, 24, 30 e algumas vezes até 36 m. Estas barras de trilhos devem ser emendadas para formar um tramo contínuo possibilitando guiar os veículos ferroviários com segurança e sem solavancos. A emenda dessas barras pode ser feita pelo processo de soldagem estudado no capítulo anterior, cujo emprego é relativamente recente. Outro processo é o da emenda mecânica. Neste último caso elas funcionam parcialmente como juntas de dilatação.

Qualquer tipo de solda de trilho é superior que a junta mecânica ou junta entalada. A junta é feita por duas talas de junção justapostas, montadas na alma do trilho e apertadas com 4 ou 6 parafusos de alta resistência com um torque pré-estabelecido.

Nestas juntas atuam esforços bem específicos que se adicionam às tensões sofridas pelos trilhos em qualquer outro ponto. As juntas mecânicas, pela sua própria característica, despertam esforços adicionais, quando da passagem das rodas, com elevado nível de vibrações, aumentando bastante as solicitações dinâmicas, que, em geral, produzem defeitos localizados nas extremidades dos trilhos. Pelo exposto vemos que as juntas mecânicas requerem atenção especial por parte da manutenção da via.

Quanto à posição das juntas em relação ao dormente, ela pode ser apoiada, quando se localiza sobre o dormente e junta em balanço ou suspensa, quando situada entre dois dormentes.

Denominamos de juntas coincidentes ou par, quando localizada na mesma normal ao eixo longitudinal da via e alternadas ou desencontradas quando defasadas em relação à normal ao eixo da via.

Os europeus preferem as juntas coincidentes e os americanos as alternativas, sendo esta última alternativa a mais comum entre nós.

Na Figura 53 mostramos uma seção transversal de uma junta com tala de junção parafusada, onde observamos as "orelhas" na seção transversal da tala de junção que tem por finalidade aumentar a inércia do conjunto para melhor absorver e distribuir os esforços ativos, oriundos dos trens em movimento.

Na Figura 54 mostramos uma seção isolada da tala de seis furos com sua correspondente distribuição ao longo de seu comprimento. Os furos ovais servem para fixar o parafuso da tala, que possui um pescoço ovalado, para fixar o parafuso, quando o mesmo é apertado. A Figura 55 nos mostra este parafuso.

Em vias sinalizadas, algumas das talas devem ser isoladas para garantir os circuitos operacionais da ferrovia.

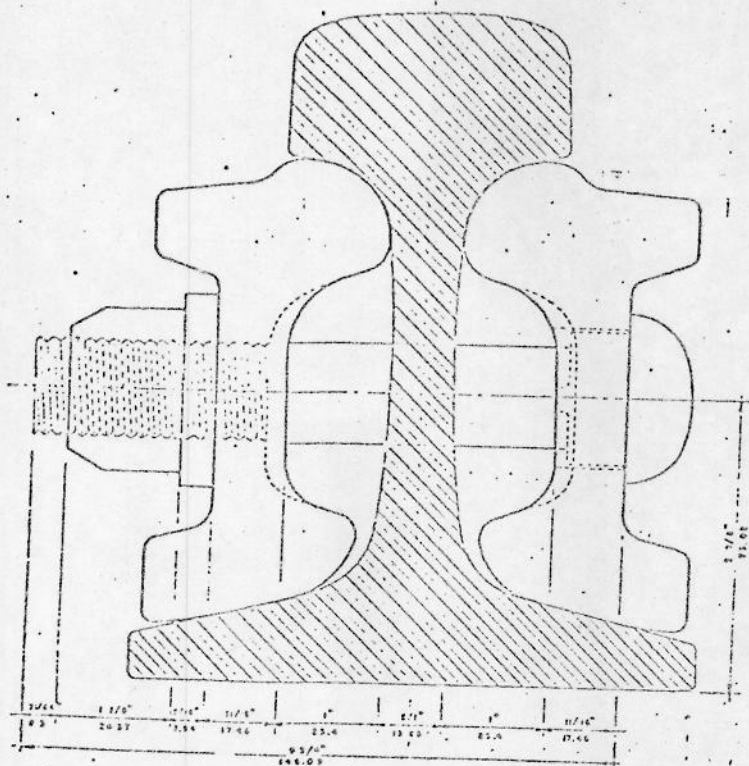


Figura 53 - Conjunto de uma junta mecânica entalada.

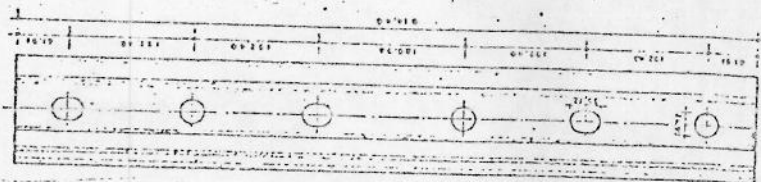


Figura 54 - Distribuição dos furos ao longo da tala de 6 furos, sendo que 3 são circulares e 3 oblongos; ao lado a seção transversal da tala

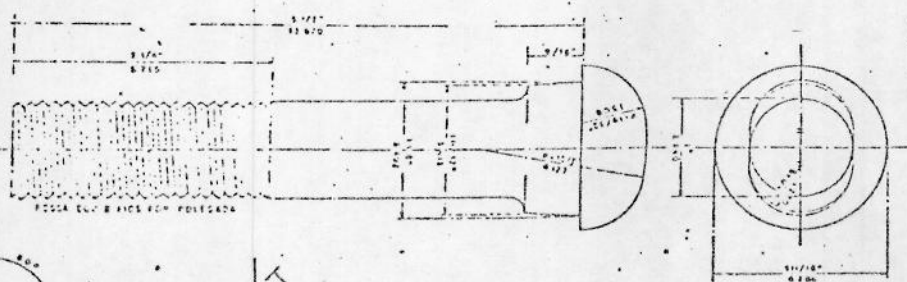
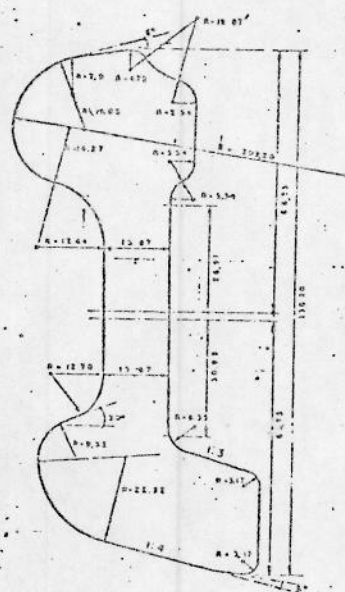
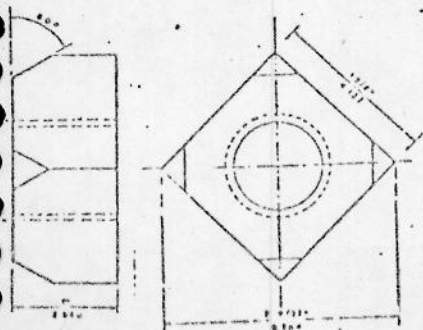


Figura 55 - Parafuso ferroviário próprio para a tala mecânica de cabeça abaulada e pescoço ovalado para encaixe no furo oblongo da tala. Ao lado a porca que em geral é de seção quadrada.



As peças componentes das talas de junção são, de um modo geral, normalizadas. Na Figura 56 indicamos as dimensões básicas que são empregadas na normalização desses componentes, bem como o número das normas correspondentes para facilidade de consulta.

Quanto às juntas isolantes nas vias férreas nós podemos destacar duas famílias:

- a) junta isolante montada, que é aquela composta de várias peças, metálicas e isolantes montadas e parafusadas à semelhança da junta mecânica. Este tipo de junta tem dado resultados satisfatórios e são de reduzida vida útil.

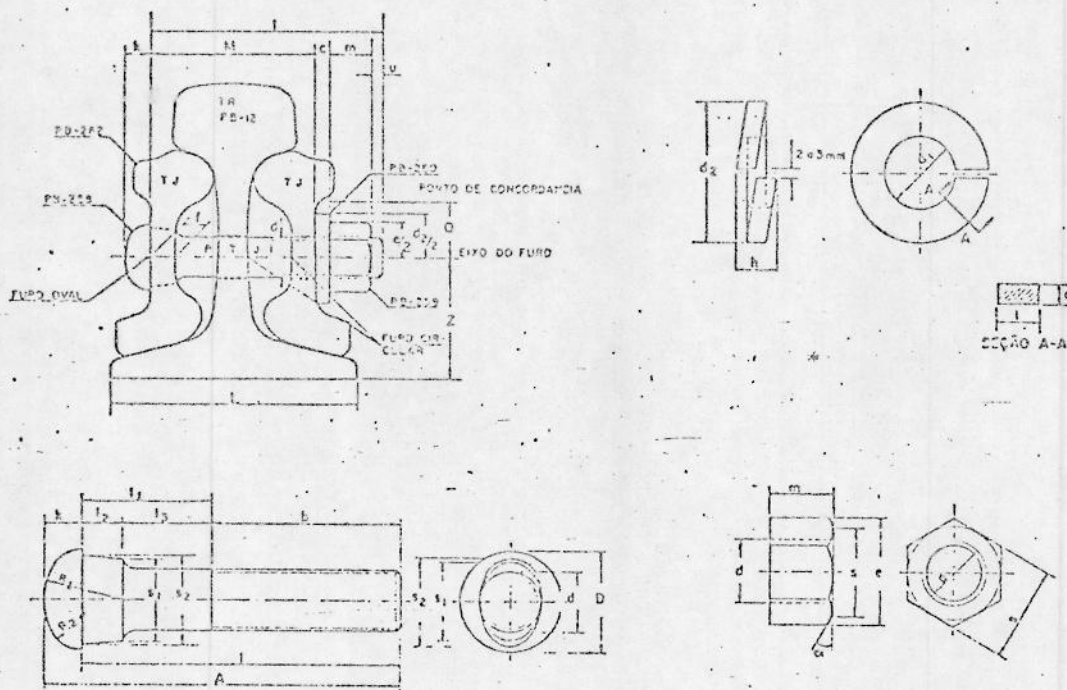


Figura 56 - Dimensões básicas que geralmente são normalizadas no conjunto da tala de junção mecânica.

- b) Juntas coladas, que são aquelas que empregam para a sua colagem à alma do trilho uma camada de cola isolante, formando um conjunto solidário ao trilho. É também parafusado junto com a cola, sendo o parafuso dotado de trava química. Esta junta tem dado resultados superiores à da junta isolante montada, com vida útil bem maior.

XI. DORMENTES

XI.1. Dormentes e suas Funções

Desejamos que os dormentes preencham os requisitos:

- a) Devem manter constante a bitola durante toda sua vida;
- b) Oferecer um suporte adequado e seguro para o trilho;
- c) Deve transferir a carga do trilho a uma grande superfície sobre o lastro, esta deve ser a máxima possível;
- d) Ter capacidade suficiente para suportar as cargas estáticas e dinâmicas;
- e) Prover a suficiente estabilidade de via no sentido transversal, vertical e longitudinal;
- f) Prover a necessária elasticidade para cima e para baixo;
- g) Prover a adequada fixação da placa de apoio e poder propiciar, permanentemente, a necessária elasticidade transversal dos trilhos;
- h) Manter o alinhamento longitudinal e transversal da via;
- i) Amortecer parcialmente as vibrações despertadas quando da passagem do trem;
- j) Devem ser de fácil manuseio no acentamento e na conservação (substituição);
- k) Não devem ser danificados ou parcialmente danificados, em caso de descarrilhamento;
- l) Devem possuir longa vida útil;

além de uma série de outros requisitos.

Os dormentes ferroviários podem ser:

- a) de madeira
- b) de concreto
- c) de aço
- d) de material sintético.

XI.2. Dormentes de Madeira

É o de uso universal. Apresenta uma excelente performance quando a madeira é boa e dura, no que se refere ao amortecimento das vibrações, e solicitações mecânicas. Será muito difícil encontrar outro material que desempenhe tão bem as funções dos dormentes. Apresenta o inconveniente de possuir pouca resistência ao ataque de fungos e a dificuldade de se conseguir madeiras com elevada resistência mecânica, devido ao seu elevado custo, forçando o uso, cada vez maior, de madeiras brancas que são de baixa vida útil, mesmo tratados com preservativo,

onerando ainda mais o custo do sistema operacional. A madeira comporta-se mara-
vilhosamente em casos de descarrilhamento, sendo essa a causa da grande resis-
tência que os especialistas se opõem ao uso de dormentes de outros materiais.

As madeiras na Europa apresentam uma vida útil média para as diversas essên-
cias e de acordo com o preservativo utilizado, como segue:

- com preservativo de creosoto ~ 30 anos
- com preservativo de sais (Wolmann) ~ 17 anos
- sem nenhum preservativo ~ 9 anos

No Brasil, as madeiras de lei têm uma vida útil média de 15 a 20 anos, depen-
dendo do preservativo utilizado, mas as madeiras comuns, algumas com parte em
cerne e outra com branco, a vida útil fica reduzida para 5 - 6 anos.

Todos os dormentes de madeira empregados no Brasil devem ser tratados com pre-
servativo para evitar a ação dos fungos e aumentar a vida útil dos mesmos. Como
preservativo da madeira, é muito empregado o creosoto, sub-produto das co-
querias das usinas siderúrgicas. Serve também o pentacloro fenol, e para servi-
ços sem grande importância, utiliza-se o sal de Wolmann.

O tratamento preservativo dos dormentes consiste em impregná-los por meio de
pressão em autoclave e se tornou obrigatório no território nacional por decre-
to-lei.

XI.3. Dormentes de Concreto

Devido à escassez cada vez mais acentuada das madeiras de lei, começou-se a
desenvolver o dormente de concreto destacando-se o período de pós-guerra na dé-
cada de 1940. Os primeiros testes resultaram em blocos simplesmente armado
com dimensões aproximadas às dos dormentes de madeira. Esse tipo está hoje em
desuso.

De um modo geral os dormentes de concreto podem ser classificados em três clas-
ses principais.

Na primeira classe situam-se os dormentes de concreto armado, monobloco, sem
nenhuma protensão, hoje completamente abandonado e absorvido pela evolução téc-
nológica, interessando apenas como fato histórico.

Na segunda classe, situam-se os dormentes mistos ou de dois blocos que são a-
queles constituídos de blocos de concreto armado de mais ou menos 29 x 70 x 23
cm, que servem de apoio para os trilhos de rolamento. Os blocos são interliga-
dos por uma haste metálica e/ou um tubo, e se dividem em dois grupos:

- a) Dormente misto simplesmente armado, tem como berço a França, seus principais tipos são o VAGNEUX e o R.S. dos quais tem mais de 15.000.000 de unidades assentadas nas vias permanentes da França e, mais ou menos, 2/3 da referida quantidade em outros países, onde são produzidos sob licença.
- b) Dormente misto protendido de concreto armado, teve sua origem na Suécia que utiliza um tubo reforçado para a conexão entre os blocos, dentro do qual passam os cabos de protensão. É muito difundido em seu país de origem, com uma fábrica para 360 a 400.000 dormentes por ano, sendo experimentalmente assentado em vários países da Europa, Austrália, África e Sul-América.

Na terceira classe situam-se os dormentes de concreto armado protendidos, são sempre monoblocos, com 2 (dois) a 64 (sessenta e quatro) fios, sendo o mais comum 4 (quatro). Também pode ser classificado em dois grupos:

- a) Os dormentes do grupo dos POSTENCIONADOS que são aqueles produzidos pelo processo patenteado DYWIDAG, onde a protensão é aplicada depois da cura acelerada do concreto. É amplamente difundido no mundo inteiro, principalmente nos países de tecnologia avançada, Europa, Japão, África do Sul, América do Norte, México e Ásia, sendo, atualmente, testado na Venezuela - ORINOCO MINE CO. - e no Brasil, na EFVM, assentado há mais de 3,5 anos com ótimo desempenho. Como marca individual é de longe o tipo de dormente mais difundido em todos os continentes, tendo sido produzidos e assentados, até então, mais de 45.000.000 de unidades.
- b) Os dormentes do grupo dos PRETENSIONADOS são produzidos por vários processos, diferindo um dos outros de somente pequenos detalhes ou totalmente em outros casos. São classificados, geralmente, pela forma empregada em sua produção, assim temos:
 - b.1. Os dormentes de concreto produzido em formas contínuas - Long-bed, desenvolvido inicialmente durante a Segunda Grande Guerra, na Inglaterra, e daí espalhando-se para os demais países da Europa, bem como aos demais continentes. Esse tipo é quase que exclusivo dos países da Ala Oriental. Na Europa conta como adepto a própria França, onde o processo foi desenvolvido pelo Eng^o Eugène Freyssinet, sendo produzidos e aplicados na SNCF, aproximadamente 4.000.000 desse tipo, produzidos pela firma STUP FREYSSINET INTERNATIONAL. A Firma CAVAN S/A iniciou, no ano de 1976, a produção de dormentes monobloco de concreto protendido. Outras empresas que produzem dormentes por este processo são: BEN GERWICK nos U.S.A. - DOW-MAC, GERWICK e P.S. CONCRETE na Inglaterra - a KOWA KASEI CO. LTD., P.S. CONCRETE CO. LTD., esta com sete fábricas de

produtos em concreto protendido, inclusive dormentes, tendo já produzido mais de 3.500.000 dormentes e respectivas fixações. Estas em teste na EFVM há mais de 3,5 anos, com ótimo desempenho, aqui representada pela firma SISEMBRA.

- b.2. Os dormentes de concreto produzido em formas individuais. Neste caso a protensão é dada inicialmente contra a forma de aço e, logo após a cura acelerada do concreto será desmoldado, transferindo então a protensão da forma para o concreto. Este tipo de dormente possui um excelente desempenho na via permanente equivalente ao do tipo postensionado, desenvolvido na Alemanha pela firma THORMANN & STIEFEL AG - "THOSTI" com filiais em vários países. Na Itália existe a firma SCAC que produz esses dormentes sob licença. No Brasil o mesmo se verifica com a firma PROTENDID que já possui a sua fábrica montada e pronta para entrar em operação. Produzidos também pela subsidiária brasileira da SCAC italiana. Os dormentes de concreto protendido dos tipos pretensionados produzidos no mundo são bem superiores a 45.000.000 de unidades.

As diferenças básicas entre os dormentes de concreto mistos e monoblocos são as abaixo mencionadas:

- a) O dormente monobloco possui uma superfície de apoio sobre o lastro de 6.700 a 7.200 cm² contra aproximadamente 4.000 cm² nos dormentes mistos, resultando uma melhor distribuição dos esforços sobre o lastro e uma bem menor distribuição de pressão na infra-estrutura; influenciando diretamente na manutenção da via permanente com menor incidência para os dormentes monobloco.
- b) O dormente monobloco apresenta maior peso favorecendo a estabilidade na via, além de possuir menor altura que o dormente misto.
- c) O dormente monobloco absorve e transmite bem os esforços horizontais e verticais que atuam sobre a via permanente, mesmo em casos de desnivelamentos transversais, enquanto que o dormente misto absorve bem, somente aos esforços verticais.
- d) O dormente monobloco permite absorver bem os momentos fletores em sua seção média, devido à flexão despertada pelas solicitações operacionais, o mesmo não se verifica no dormente misto.
- e) O dormente monobloco possui muito melhor condição de absorver as cargas acidentais que excepcionalmente podem chegar a 2,5 Q, sendo Q a carga vertical por roda.
- f) Se, sob a ação de uma carga acidental excepcional, ocorrer uma fissura, esta se fecha a seguir sob o efeito da protensão, devido ao efeito resistente, o mesmo já não ocorre no dormente misto onde a fissura

será permanente devido à deformação permanente na barra de ligação.

- g) As tolerâncias na geometria dos dormentes e na bitola são mais precisas no dormente monobloco de concreto do que nos dormentes de concreto mistos, podendo no primeiro ser tolerada 1 a 2 mm e no segundo algo da ordem de 4 a 6 mm.

Nos últimos dois anos, os dormentes monobloco de concreto protendido tiveram um excelente impulso tecnológico no seu desenvolvimento no Brasil, sendo já fornecidos, normalmente, para as empresas ferroviárias. Existem 5 (cinco) firmas, de porte médio, capacitadas para produzir dormentes de concreto protendido.

XI.4. Dormentes de Aço

Os dormentes de aço apresentam uma grande aceitação entre os técnicos ferroviários, sendo seu uso bastante restrito, devido ao seu elevado custo tendo como vantagem uma longa vida útil. No Brasil não se justifica devido aos "deficits" crônicos na produção de aço. Apresenta as desvantagens abaixo:

- a) Dificuldades na socaria do lastro não conservando a sua posição dificultando o alinhamento.
- b) Possui elevado custo.
- c) Elevado nível de ruído.
- d) Dificuldade no bom isolamento elétrico causando interferências com a sinalização.

XI.5. Dormentes Sintéticos

Hoje já se estuda dormentes de matéria plástica Nylon, e outros materiais. Na Itália desenvolveu-se um dormente de fibro-cimento com ótimos resultados. Ainda é caro e ainda não é competitivo com os dormentes de outros materiais.

XII. LASTRO FERROVIÁRIO

O lastro ferroviário deve receber as cargas que são despertadas na base dos dormentes, ainda bastante dispersa pela ação dinâmica quando da passagem dos trens e redistribuí-las tão uniformemente quanto possível ao sub-lastro e/ou ao terrapleno.

O lastro deve atender, entre outras, as seguintes qualidades e características:

- a) Deve apresentar elevada capacidade de suporte.
- b) Deve drenar o mais rápido possível toda a unidade recebida das precipitações pluviométricas, levando-as para fora do terrapleno.
- c) Deve permitir a reconstituição do nivelamento longitudinal transversal e o próprio alinhamento, sem danificar o material. Este serviço pode ser feito por processos manuais ou por equipamentos pesados. É sem dúvida a principal característica que o lastro deve atender.
- d) Deve possuir elevada resistência à abrasão para reduzir o seu desgaste por atrito entre si, ou seja, possuir o mais baixo índice de resistência à abrasão no teste Los Angeles.
- e) Deve transmitir a carga recebida do dormente o mais uniforme possível sobre o sub-lastro, e este à plataforma do terrapleno.
- f) Não deve penetrar na infra-estrutura do terrapleno.
- g) Deve impedir o deslocamento lateral, impedindo a flambagem da via no plano horizontal.
- h) Deve impedir o deslocamento longitudinal da via.
- i) Manter os dormentes em sua correta posição e protegê-los da umidade responsável pela deterioração dos materiais.

Uma outra característica que o lastro deve atender é ^{permitir} corrigir todas as deficiências existentes na execução das obras civis ou dos materiais componentes da superestrutura permitindo um exato resultado final no assentamento da via. Portanto, as irregularidades do terrapleno existente após a sua conclusão, as diferenças na altura do dormente, das placas de fixação e/ou dos próprios trilhos são todas eliminadas pela interposição do lastro entre o terrapleno e os dormentes.

O lastro apresenta uma característica resiliente, sendo responsável pela absorção de boa parcela dos ruídos despertados na passagem dos trens. Esta resiliência do lastro confere à via um certo grau de elasticidade, que é muitas vezes exagerada pelos nossos técnicos.

XIII. FIXAÇÃO DOS TRILHOS AOS DORMENTES

XIII.1. A Função da Fixação do Trilho ao Dormente

A via está sujeita a uma série enorme de solicitações. Estas solicitações crescem rapidamente à medida que as cargas e velocidades aumentam, que se adicionam às solicitações dinâmicas nos sentidos vertical, lateral e longitudinal, às vibrações que são despertadas pelas cargas móveis, geralmente oriundas das irregularidades da via e do material rodante, e também às solicitações decorrentes das massas não balanceadas do material rodante. O martelamento vertical nas juntas mecânicas contribuem com uma parcela considerável.

As tradicionais fixações de trilhos aos dormentes, como por exemplo o prego de linha, tipo cabeça de cachorro, tarugos arredondados ou tirefonds não têm condições de absorver e amortecer as solicitações mencionadas, que ainda são influenciadas pelas irregularidades na via que progridem gradualmente, deteriorando a bitola da via, o nivelamento transversal, o nivelamento longitudinal e o alinhamento da via, principalmente em curvas.

Quando uma roda rola com certa velocidade sobre o trilho, despertam nele vibrações que são transmitidas através das fixações e dormentes ao lastro. Estas vibrações são de alta e baixa frequência. A velocidades elevadas e crescentes, as vibrações também aumentam, podendo alcançar frequências da ordem de 700 a 1000 Hertz, correspondendo a acelerações apreciáveis nas massas não balanceadas que são as principais responsáveis pela degradação lenta da via e muitas vezes da fixação presa aos dormentes, chegando algumas vezes a afrouxar os embutidos nos dormentes de concreto protendido.

Portanto, uma moderna fixação de trilhos aos dormentes deve atender entre outras as seguintes finalidades:

- a) Deve guiar o trilho sobre o dormente, garantindo a exata bitola da via e manter o trilho na sua posição correta, isto é, ligeiramente inclinado sobre a vertical - 1:20 ou 1:40.
- b) As cargas horizontais e verticais atuando sobre os trilhos, decorrente dos veículos, devem ser transferidos para os dormentes sem prejudicar o conjunto de fixação.
- c) Deve apresentar elevada resistência aos deslocamentos longitudinais do trilho, resistindo ao movimento de reptação.
- d) Deve apresentar elevada resistência à torção do trilho no plano horizontal, que ajuda a combater a flambagem horizontal da via nos dias quentes.
- e) Deve garantir uma permanente e duradoura pressão elástica, em ambas as faces do patim do trilho e também sobre o dormente.

- f) Deve permitir a substituição do trilho sem afrouscar seus embutidos no dormente de madeira.
- g) Deve permitir a substituição de todas as peças sujeitas à corrosão ou ao desgaste, sem prejudicar o conjunto. Esta substituição deve ser executada por processos mecanizados, a fim de reduzir os custos anuais de manutenção.
- h) Todos os materiais componentes devem possuir uma longa vida útil. Quando houver placa de apoio, esta deve apresentar uma vida útil de no mínimo 50 anos.

XIII.2. Tipos de Fixação de Trilhos

Existem vários tipos de fixação de trilhos, que procuramos descrever e agrupá-los como segue:

XIII.2.1 - Fixação Direta e Assentamento Direto do Trilho

Neste caso os trilhos da via são assentados diretamente sobre os dormentes da via.

Na Figura 58 indicamos alguns casos de fixação direta com assentamento direto dos trilhos. Neste caso, os trilhos se apóiam diretamente sobre os dormentes e também preso diretamente ao dormente. que pode ser executado com tirefond, prego de linha, tipo cabeça de cachorro, ou ainda com tarugo redondo, que são mostrados na Figura 59. Eventualmente o assentamento direto e fixação direta pode ser elástica, quando empregamos para a fixação um grampo elástico, cujas dimensões indicamos na Figura 60.

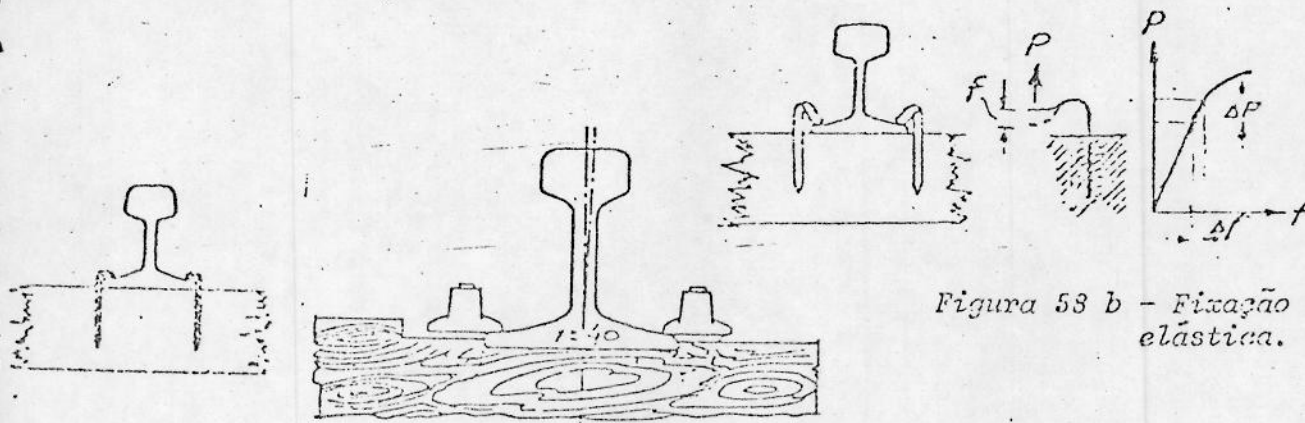


Figura 58 b - Fixação elástica.

Figura 58 a - Fixação rígida.

Figura 58 - Fixação direta e assentamento direto.

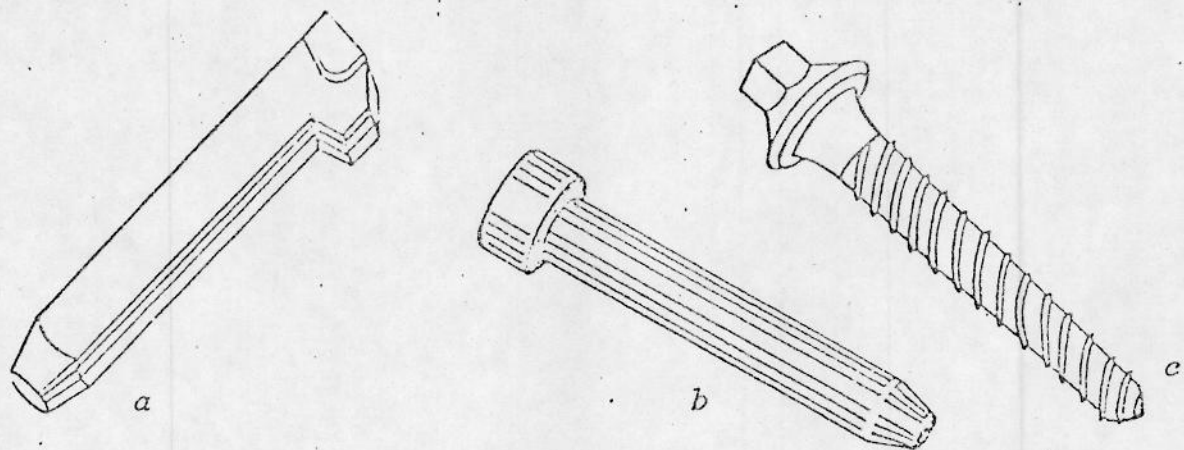


Figura 59 a) Prego de linha tipo cabeça de cachorro - b) tarugo redondo - c) Tirefond.

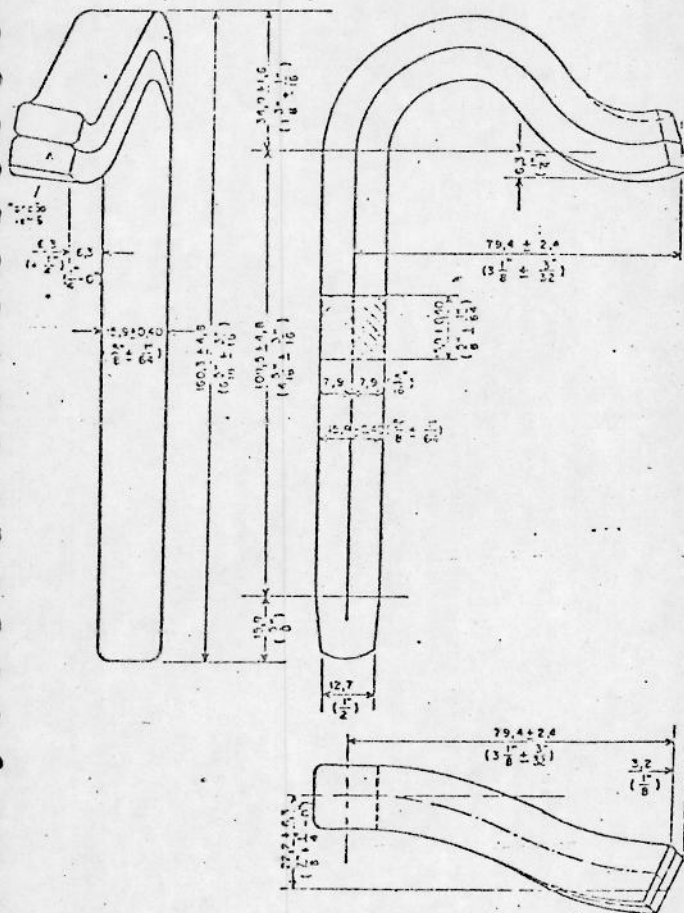


Figura 60 - Tipo de grampo elástico na fixação direta.

Neste caso, o dormente de madeira sofre uma rápida degradação mecânica, devido ao martelamento do trilho sobre o dormente. O trilho esmaga a madeira, cisalhando suas fileiras e consequentemente afrouxando gradativamente a fixação; que deixa de exercer pressão sobre o patim do trilho. Este tipo de fixação está desaparecendo devido às suas enormes deficiências.

XIII.2.2 - Fixação Indireta e Assentamento Direto do Trilho

Neste caso o trilho é assentado diretamente sobre o dormente sem intercalar a placa de apoio entre trilho e dormente. Uma fixação separada prende o trilho ao dormente, havendo uma peça própria ou cunha que é fixada ao dormente em cada

lado do trilho absorvendo as solicitações laterais. Este tipo é empregado geralmente em dormentes de concreto, destacando-se a fixação tipo HM, largamente empregado na Alemanha e, atualmente, está sendo introduzida no Brasil. A Figura 61 nos mostra este tipo de fixação. Na Figura 62 indicamos outro tipo desse grupo de fixações desenvolvido pelos franceses para dormentes de concreto pretendido e ainda sob controle de patente.

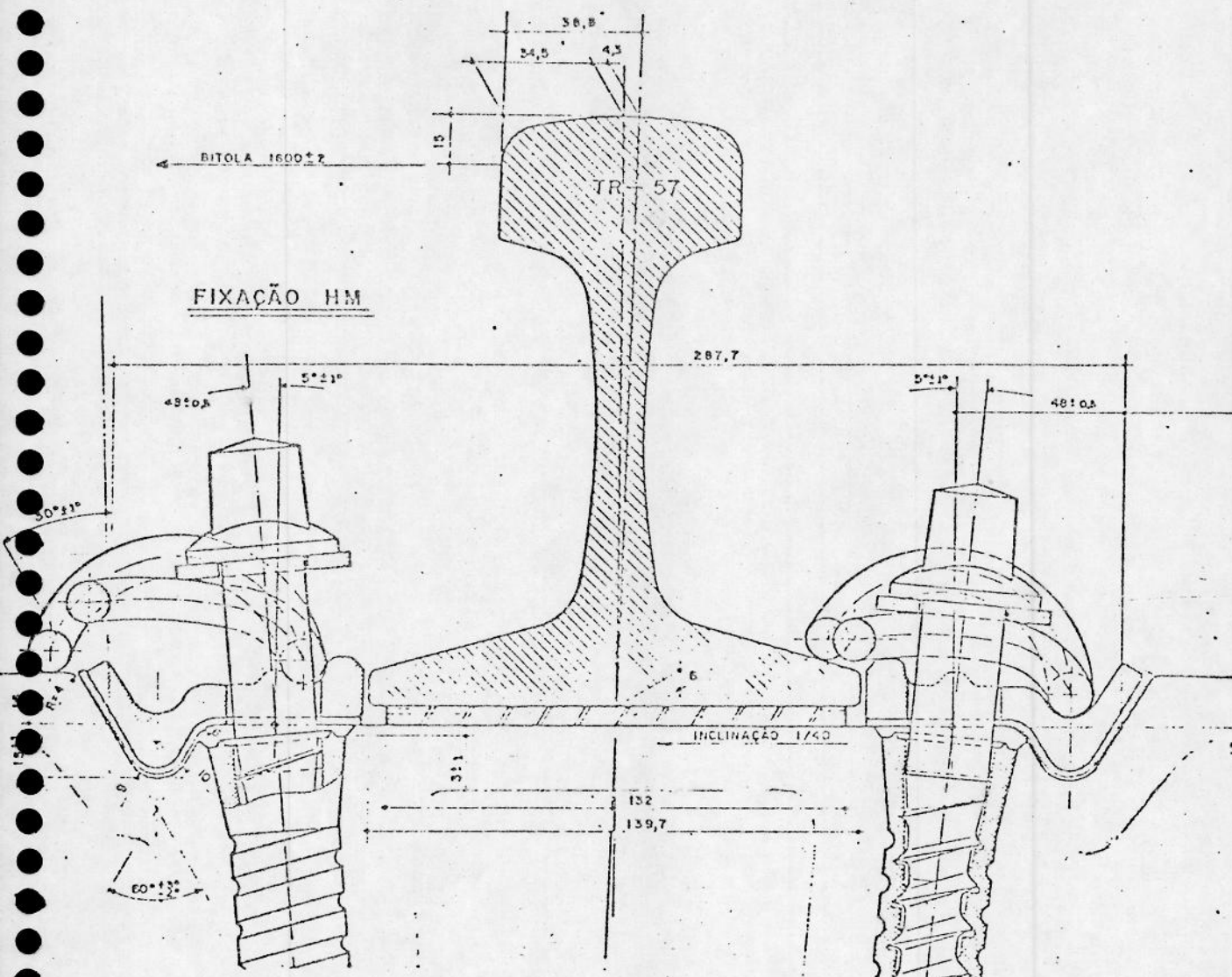


Figura 61 - Fixação indireta e assentamento do trilho diretamente ao dormente do tipo HM, para dormente de concreto.

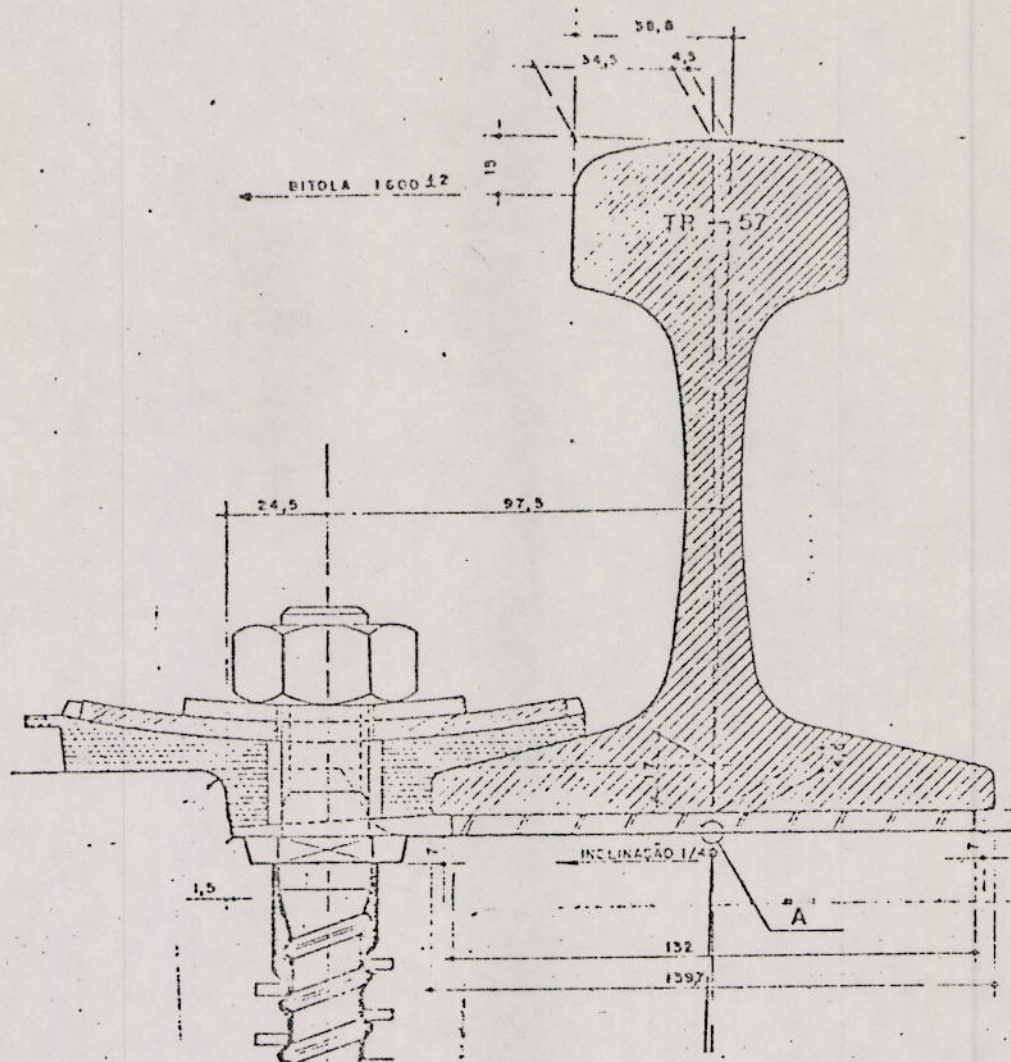


Figura 62 - Fixação indireta e assentamento do trilho diretamente ao dormente do tipo francês para dormente de concreto.

XIII.2.3 - Fixação direta e assentamento indireto do trilho

Neste caso intercalamos entre o trilho e o dormente uma placa de apoio de aço com ou sem ombros para guiar o trilho. A placa de apoio propicia uma área bem maior para distribuir as tensões sobre o dormente, sendo indispensável para dormentes de madeira mole e altamente vantajoso para dormentes em madeira de lei. Também se propicia uma melhor distribuição de tensões na parte superior do lastro. A placa de apoio serve também para diminuir a abrasão mecânica do dormente, além de reduzir o esmagamento da madeira próxima ao patim do trilho em caso de descarrilhamento.

As solicitações horizontais que agem sobre os trilhos não são diretamente transmitidos para os pregos ou tirefonds, sendo boa parcela absorvida pela própria placa de apoio no atrito entre esta e o dormente.

O uso de placas de apoio faz reduzir os custos de manutenção dos dormentes e prolonga consideravelmente a sua vida útil, ficando, praticamente, limitada a deterioração provocada pelos fungos ou mais precisamente pelo apodrecimento.

A fixação direta prende o trilho à placa de apoio e esta ao dormente como mostramos na Figura 63.

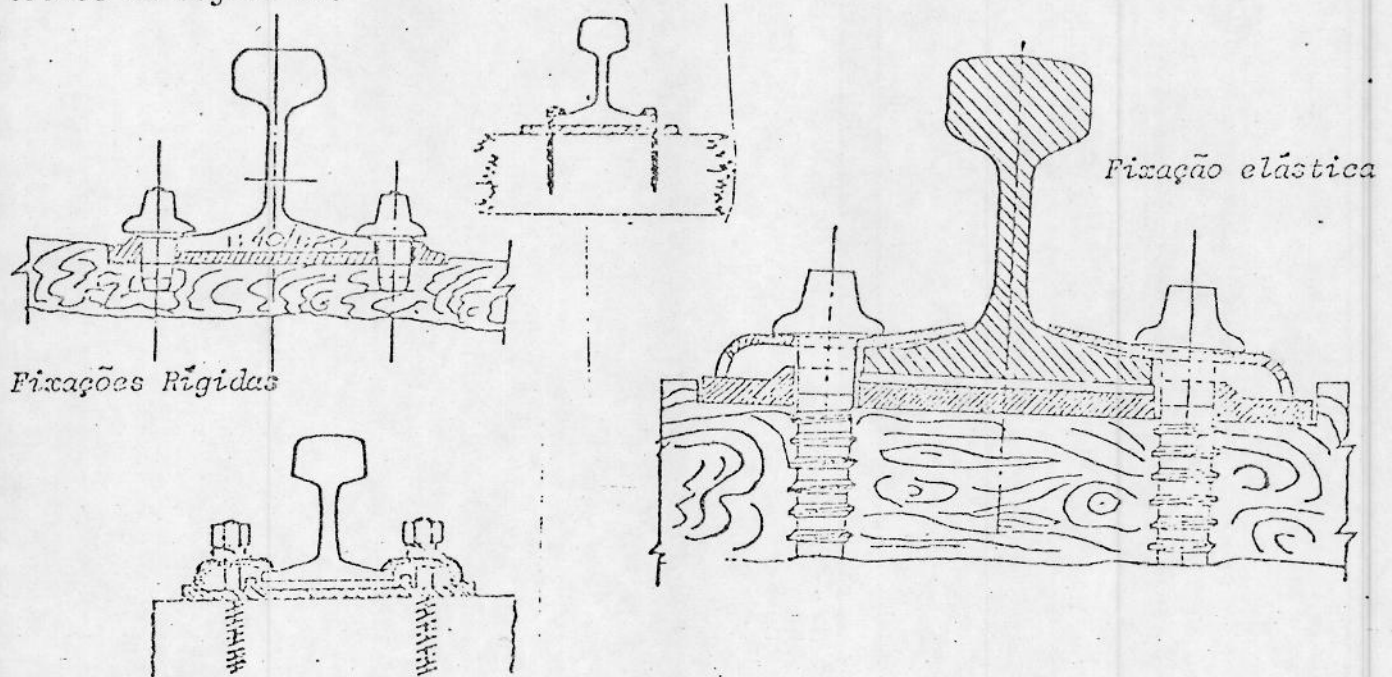


Figura 63 - Vários tipos de fixação direta e assentamento indireto.

XIII.2.4 - Fixação indireta e assentamento indireto

Neste caso, o trilho é assentado sobre a placa de apoio e fixado diretamente a esta. A placa de apoio por sua vez é fixada ao dormente por tirefond. Entre o tirefond e a placa de apoio convém que seja empregado uma arruela dupla de pressão. Esta reduz ainda mais a degradação mecânica do dormente de madeira.

Na Figura 64 a indicamos a fixação indireta do trilho assentado sobre uma placa de apoio, sendo esta presa ao dormente por tirefond, sem arruela de pressão e a Figura 64 b indicamos a intercalação da arruela de pressão.

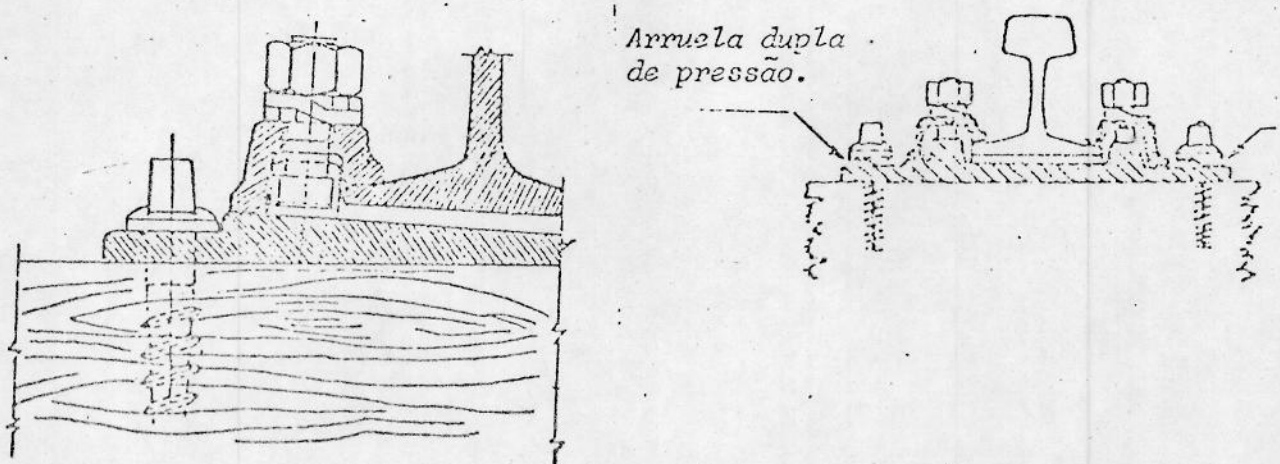


Figura 64 - Fixação indireta e assentamento indireto do trilho ao dormente, usando como exemplo a fixação K.

Este tipo de fixação é conhecido entre nós, por fixação GEO ou K empregado na FEPASA (antiga paulista), sendo esta que tem dado a melhor performance. A placa de apoio possui ombros onde encaixamos o parafuso que prenda a garra que fixa o trilho à placa.

Vários outros elementos foram encaixados na ranhura do ombro da placa de apoio com bons resultados, destacando-se os elementos elásticos, que reduzem o número de peças, ou seja em um conjunto de fixação do tipo K, temos que a garra, a arruela dupla de pressão, o parafuso da garra e a porca que são substituídos por apenas uma única mola de formato apropriado.

Dessa forma transformamos a fixação indireta e assentamento indireto, que é rígida, em uma fixação semelhante, porém elástica, como vemos nas Figuras 65 e 66, nesta última indicamos, inclusive, o curso elástico da mola.

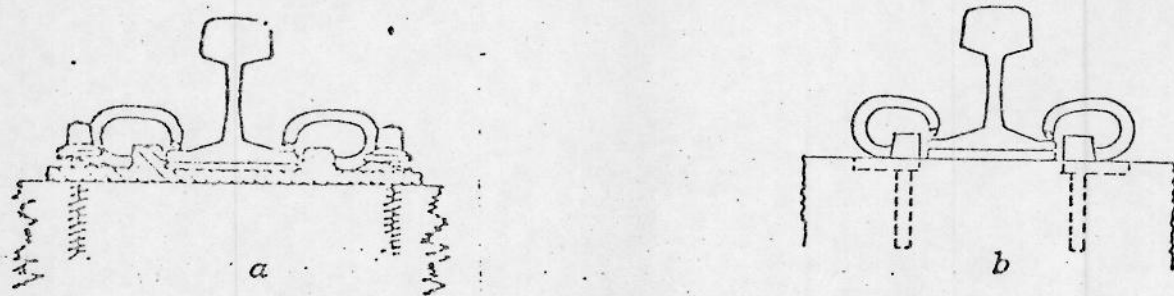


Figura 65 - Fixação indireta elástica - a) sobre dormente de madeira - b) sobre dormente de concreto.

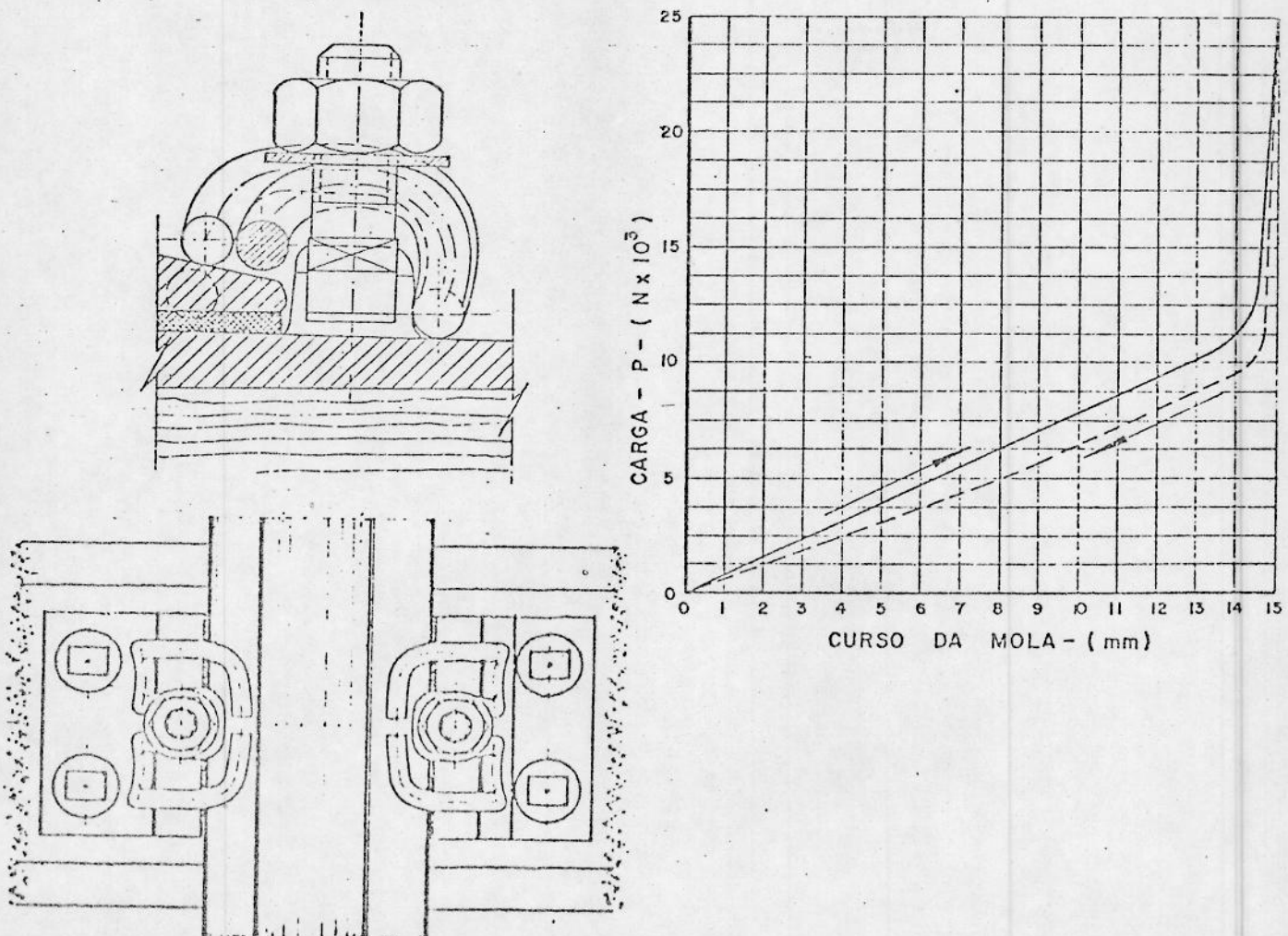


Figura 66 - Placa do tipo GEO ou K com outro tipo de mola, com sua correspondente curva carga-deflexão.

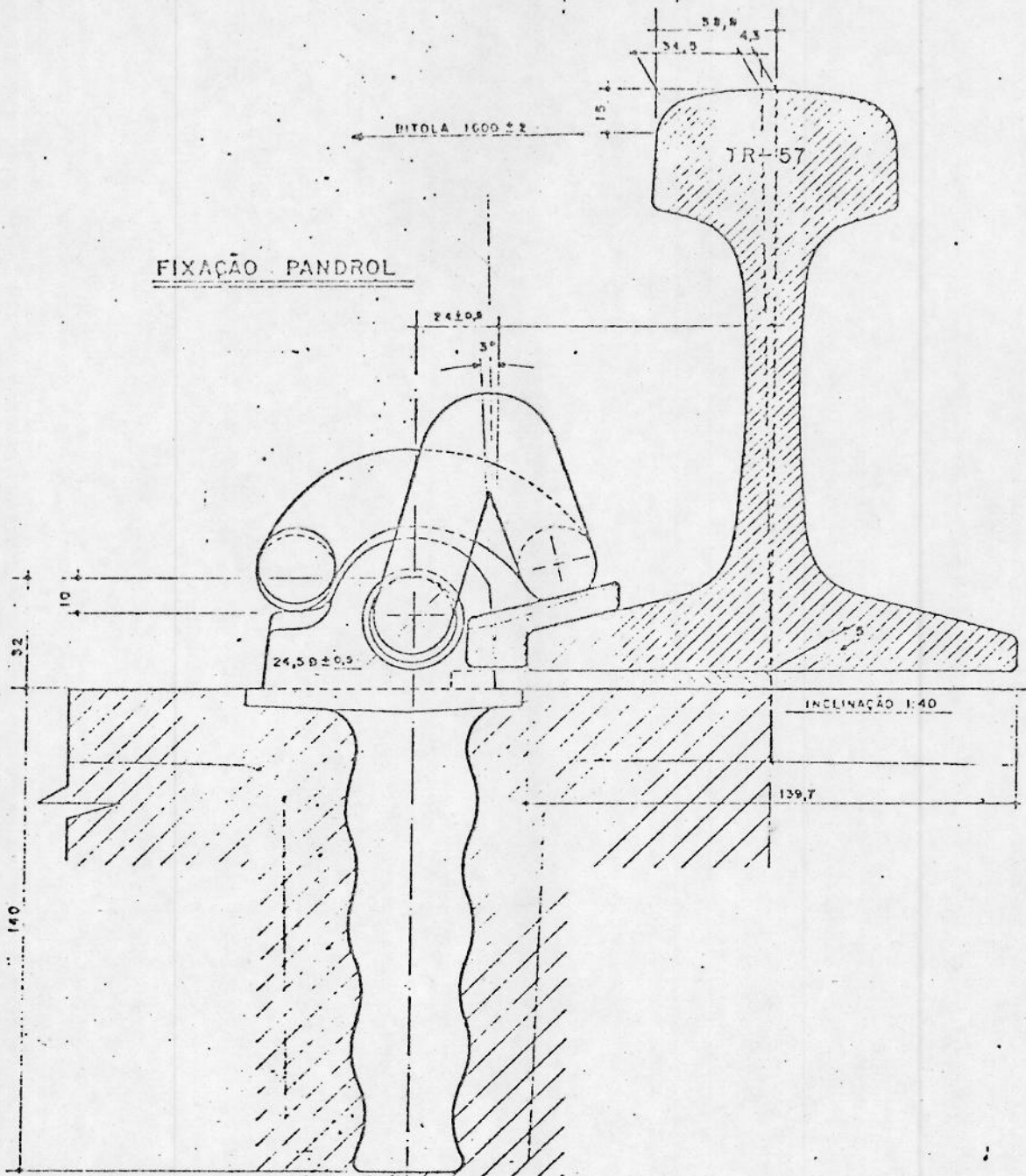


Figura 68 - Desenvolvimento da fixação Pandrol para dormentes de concreto protendido.

XIII.3. Retensões de trilhos

Sob os efeitos da reptação, das acelerações, das frenagens, das variações térmicas, das rampas, etc... os trilhos tendem a caminhar no sentido longitudinal da via. Por isto, as fixações de trilhos aos dormentes devem apresentar elevada resistência ao deslocamento longitudinal.

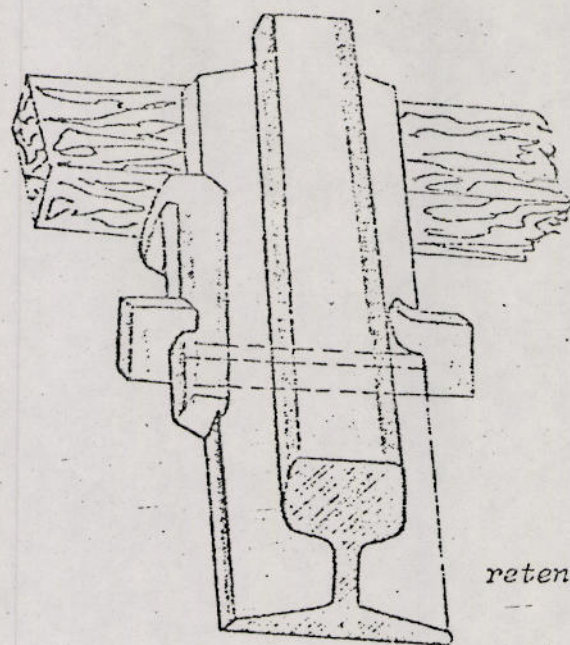
De um modo geral, as fixações diretas, com ou sem assentamento direto do trilho não apresentam a necessária resistência longitudinal, sendo necessário empregar retensores de trilhos, que são peças metálicas, geralmente elásticas, encaixadas rigidamente ao patim do trilho. O encaixe dos retensores no trilho está correto, quando este encosta no dormente; assim quando os trilhos tendem a caminhar temos necessidade de deslocar também os dormentes e o lastro.

Para que os retensores de trilhos funcionem bem, devem ser empregados, ao longo da via, um número relativamente grande desses elementos, requerendo constante ajustagem. A quantidade de retensores a ser empregada depende da intensidade das variações das solicitações longitudinais do trilho, que em geral são maiores nos trilhos longos soldados. Neste caso, devem reter os efeitos da dilatação dos trilhos durante a variação da temperatura em ambas as extremidades da barra longa.

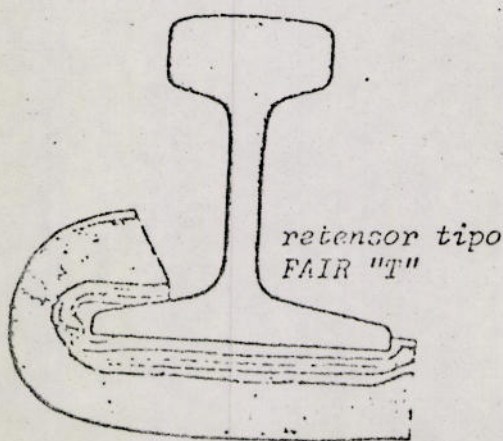
Os retensores de trilho em si não são peças baratas e são onerados ainda, com a sua constante ajustagem, resultando um custo apreciável na manutenção da via permanente. Exatamente por isso passou-se a utilizar a fixação indireta e o assentamento dos trilhos indiretamente, obtendo-se assim, um excelente desempenho de retenção longitudinal dos trilhos, dispensando o emprego de retensores.

Na Figura 69 mostramos alguns tipos de retensores de trilhos sendo os mais empregados no Brasil o FAIR "T" e o FAIR "V".

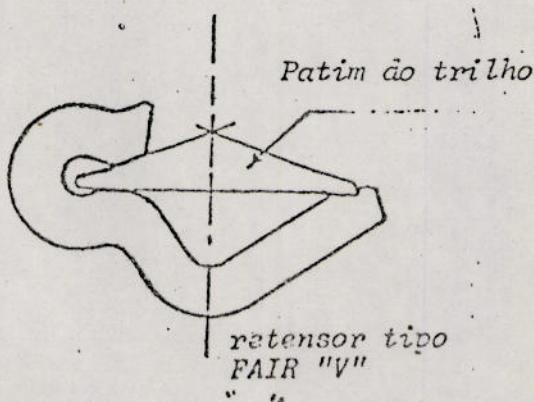
Na moderna via permanente e com a fixação elástica dos trilhos, os retensores encontram um emprego cada vez menor.



retensores tipo yates



retensor tipo
FAIR "T"



retensor tipo
FAIR "V"

Figura 69 - Diversos tipos de retensores de trilhos empregados na via permanente.

XIV. APARELHOS DE MUDANÇA DE VIA - AMV

XIV.1 - Definições

Aparelhos de mudança de via - AMV's - são dispositivos instalados nas vias ferroviárias e metroviárias que permitam desviar os veículos que sobre ela circulam, sem provocar interrupção no fluxo operacional.

Todo AMV tem seu início antes da agulhagem e o seu término após o jacarê, no cruzamento, como indicamos na Figura 70.

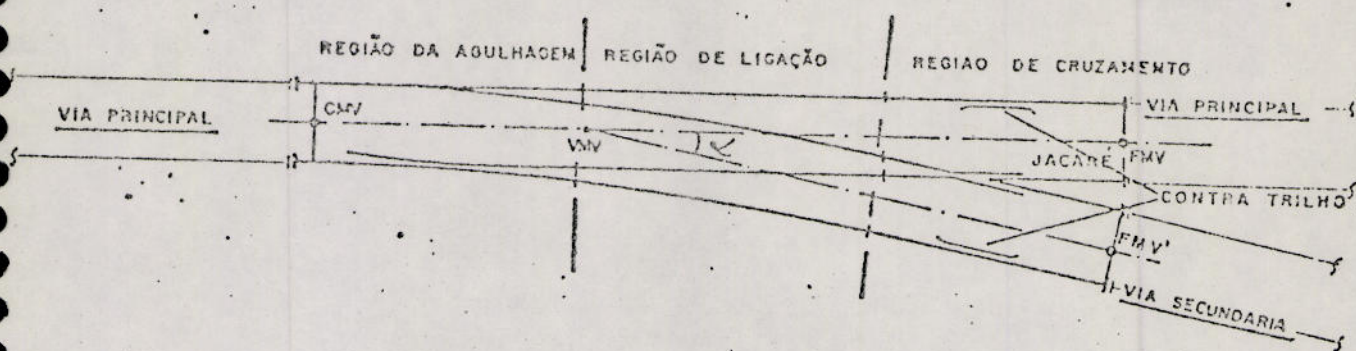


Figura 70 - Aparelho de mudança de via simples com derivação à direita.

O AMV se compõem de três regiões bem distintas, a saber:

- A região da agulhagem que se compõe do par de agulhas, dos trilhos de encosto da agulha, das placas deslizantes e do conjunto de barras de acionamento e auxiliares. Além dos componentes de fixações dos trilhos de rolamento apropriados para essa região. Também faz parte da agulhagem o aparelho de manobra, quando operado localmente ou da máquina de chave, quando operado automaticamente.
- A região do cruzamento que se compõe do jacarê, das patas de lebre, dos contra-trilhos e dos trilhos de encosto do contra-trilho, além dos respectivos conjuntos de fixações de trilhos, especialmente projetados para esta região.
- A região de ligação que se compõe dos trilhos de ligação e dos respectivos conjuntos de fixações dos trilhos de rolamento.

De um modo geral, os trilhos de rolamento através do AMV, são assentados na perpendicular. Algumas estradas de ferro empregam, na região de ligação, trilhos assentados com inclinação de 1:40 ou 1:20 à semelhança do que ocorre na via corrida. Este fato em baixas velocidades tem pouca importância, porém, em velocidades superiores a 60 km têm influência bastante significativa na dinâmica do deslocamento, com solicitações adicionais nos AMV's, aumentando o desgaste e as despesas de manutenção.

O início teórico do AMV é geralmente conhecido pelas letras de CMV - começo da mudança de via; e o final na via principal de FMV - fim da mudança de via e na derivação de FMV'. Ao vértice teórico damos a simbologia de VMV - vértice da mudança de via, como se observa na Figura 70.

Se nós nos colocarmos no CMV e olharmos para o cruzamento, teremos um AMV à direita, quando este permite a passagem dos veículos para outra via à direita e à esquerda em caso contrário.

A ABNT, em seu projeto de norma TB-39 de abril de 1978, define no item 3.27: "Aparelho de Mudança de Via A (AMV-A) - AMV de origem tecnológica da A.R.E.A." - American Railway Engineering Association, de concepção norte americana. Este é o AMV tradicionalmente usado pelas nossas empresas ferroviárias e nos metrô, em suas vias secundárias e pátios. A mesma norma, no item 3.37 define: "Aparelho de Mudança de Via U (AMV-U) - AMV de origem tecnológica européia", ou seja da UIC - Union Internationale des Chemins de Fer. Este é o AMV empregado nas vias principais dos metrô brasileiros por oferecerem maior nível de conforto e segurança para os usuários.

XIV.2 - Funções e Características do AMV

De um modo geral, todos os AMV's, instalados nas vias, representam uma área crítica mais fraca que o restante da via, mesmo estando situado em reta. Técnica e praticamente é possível assentar AMV's em curva e, quando isto ocorrer devemos estar conscientes de seu maior custo de manutenção e conservação, devido ao desgaste natural e das solicitações mais acentuadas em relação àqueles assentados em retas.

Qualquer que seja o tipo do AMV, ele deve atender às seguintes características e funções:

- a) Permitir desviar os veículos a velocidades compatíveis com a operação comercial da estrada,
- b) Permitir a passagem dos veículos sobre os mesmos sem solavancos, ou com a menor intensidade possível, representando elevado grau de, conforto para o usuário,
- c) Permitir fácil manobra de suas agulhas com comando local e manualmente ou à distância e automaticamente.
- d) Sua manobra deve ser fácil e em tempo reduzido. Em vias de comando automatizado deve ser praticamente instantâneo.
- e) Garantir plena e total segurança contra o descarrilhamento.
- f) Garantir uma contínua e eficiente fixação dos trilhos de rolamento, tanto na via principal, como no desvio.
- g) Ser de baixo custo aquisitivo.
- h) Apresentar um baixo nível de manutenção, garantindo a integralidade funcional durante um longo período.

Não devemos menosprezar o AMV, pois ele é um dispositivo extremamente importante nos sistemas ferroviários e metroviários, porque:

- a) Seu custo aquisitivo e o de sua manutenção é bem maior, por metro linear, do que em via corrida mesmo considerando os segmentos da via CMV-FMV + VMV-FMV'.
- b) Possui elevado desgaste nas suas peças mais importantes, exigindo por isso maior nível de manutenção e conservação.

XV. CONCEITOS ELEMENTARES DE MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA

XV.1 - Generalidades

Até bem pouco tempo atrás, a manutenção das vias permanentes ferroviárias não obedecia a nenhum planejamento racional. Os primeiros planos e trabalhos metódicos de conservação da via permanente apareceram na Europa durante a Primeira Guerra Mundial visando atender à necessidade do deslocamento das forças armadas. Este planejamento mostrou-se eficiente também após a Guerra, sendo implantado em ritmo lento, espalhando-se para os demais países.

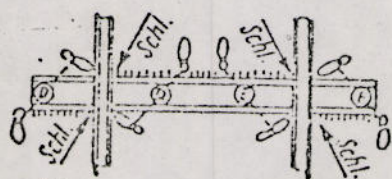
Nos anos subsequentes, houve necessidade de reduzir os custos de manutenção e conservação das vias permanentes. Novos esforços foram desenvolvidos visando reduzir os custos de mão-de-obra e material. Para reduzir a mão-de-obra houve o desenvolvimento de equipamentos que pudessem realizar o serviço dos homens. Estes equipamentos tinham uma evolução lenta e difícil, porém na atualidade já é rotina.

XV.2 - Socaria Manual

Toda via permanente assentada sobre lastro sofre uma degradação com o uso. Esta degradação consiste na perda do nivelamento longitudinal e transversal e da perda do alinhamento. Estes serviços devem ser refeitos.

Os serviços de socaria consistem em refazer a consistência do lastro sob os dormentes, a fim de restituir a sua capacidade de suporte. Este serviço quando feito pelo homem é qualificado entre os mais pesados.

A socaria manual pode ser feita por picareta reta apropriada ou por vibradores elétricos manuais. No primeiro caso, quando temos via dupla, a socaria deve se processar em sentido contrário ao do movimento dos trens. Em cada dormente trabalham 4 homens como mostramos na Figura 75 em planta.



Señl - Sentido de ação da picareta na socaria manual



sentido do tráfego em linhas de via



levante de aproximadamente 5 cm

Figura 75 - Posição em planta dos 4 homens por dormente para produzir a socaria, sendo 2 direitos e dois esquerdos.

XV.3 - Socaria Mecânica

Visando simplificar o trabalho dos homens na soca manual desenvolveu-se socadoras universais. Estas socadoras possuem pás vibrantes que penetram no lastro e o comprimem sob o dormente, sob intensa vibração como podemos observar na Figura 78.

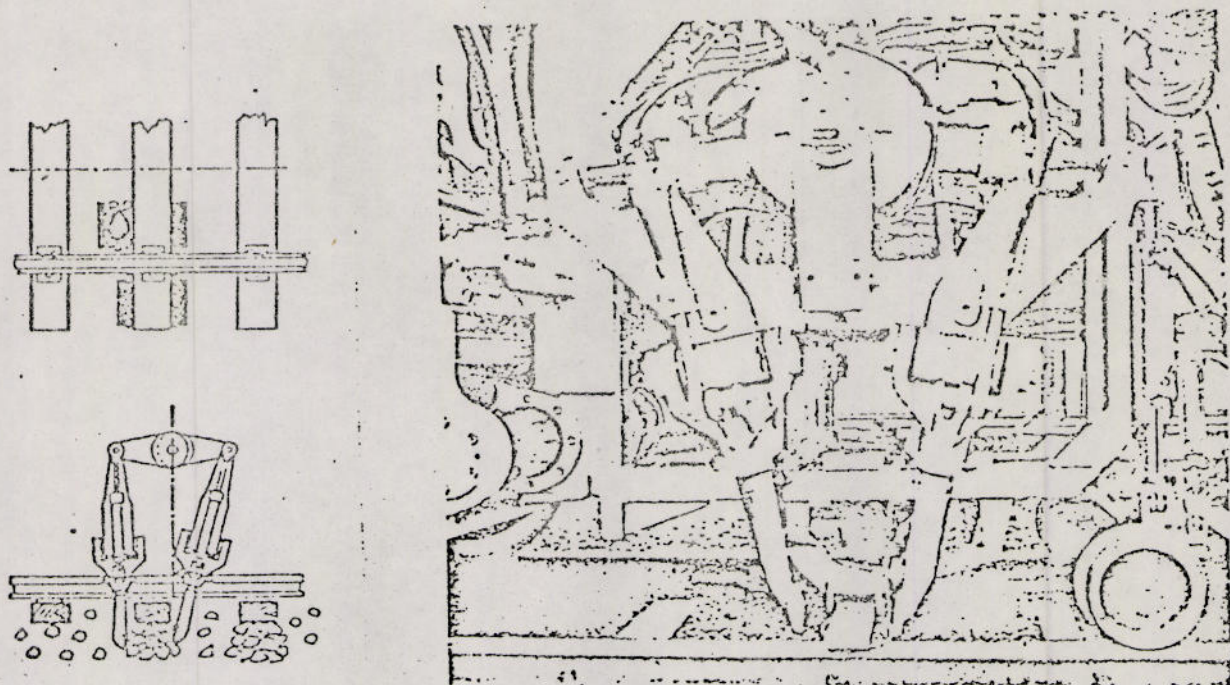


Figura 78 - Conjunto vibrador de uma socadora universal.

Com o desenvolvimento da mecanização dos serviços de manutenção de via que tomou enorme empenho nos últimos 20 anos, passou-se a incorporar nas socadoras universais os seguintes recursos:

- a) Nivelamento longitudinal, operado e controlado geralmente pela intercepção de raios óticos, emprega-se também, em alguns equipamentos células foto-sensíveis.
- b) Nivelamento transversal por meio de controles pendulares possibilitam zerar o empeno transversal da via nos casos de superelevação nula com precisão de ± 1 mm. Permitem fazer a distribuição da superelevação e a própria superelevação com o mesmo grau de precisão.
- c) Introduziu-se a correção dos alinhamentos mediante o emprego de cordas.

Os alinhamentos são medidos pelos desvios das flechas e lançadas sobre um diagrama de curvatura, que em tangente é zero e em uma curva circular toma um valor finito que pode ser calculado pela expressão 9. A curva de transição aparece com uma inclinação constante desde o TE ao EC. Todos os desvios lançados sobre o diagrama teórico caracterizam imperfeições da via como podemos observar na figura 79.

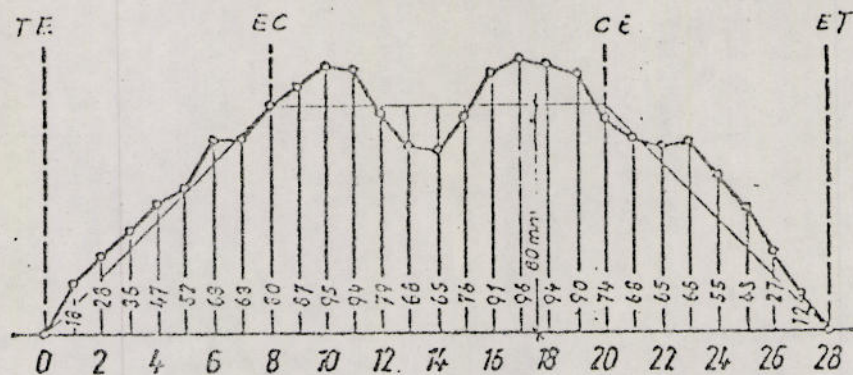


Figura 79 - Diagrama de curvatura teórico comparado com o diagrama real da curva pela variação das flechas para uma determinada corda.

O nível dos defeitos, a sua frequência por segmento de via, são estabelecidos em função da velocidade operacional da estrada, e cada empresa ferroviária fixa os seus critérios de avaliação da qualidade da via.

As máquinas niveladoras, socadora e alinhadoras fazem as três correções simultaneamente na via podendo apresentar uma produtividade de 200 a 350 m/h para os equipamentos mais rudimentares até 700 ou mais para os equipamentos mais sofisticados.

Estes equipamentos reduziram em muito o efetivo dos homens na manutenção da via permanente, e passaram a exigir um maior nível de controle da via, cujo nível de precisão depende da velocidade operacional da estrada. Este fato fez surgir os carros-controle para controlar, antes e depois dos serviços, a qualidade dos mesmos.

Os carros-controle coletam as características da via, registram os diversos parâmetros em fitas e o computador fará simultaneamente, a avaliação desses parâmetros em função de um programa pré-estabelecido. A Figura 80 nos mostra o fluxograma de um desses programas e a Figura 81 a fita registradora com os parâmetros:

- a) bitola de via
- b) curvatura da via
 - b.1) fiada do trilho esquerdo
 - b.2) fiada do trilho direito
- c) superelevação
- d) marcos de referência
- e) empenos da via
- f) superfície de rolamento
 - f.1) corrugação na fiada do trilho esquerdo
 - f.2) flecha nas juntas na fiada do trilho esquerdo
 - f.3) flecha nas juntas na fiada do trilho direito

f.4) corrugação na fiada do trilho direito

g) nivelamentos longitudinais

ou outros parâmetros se forem de interesse da estrada.

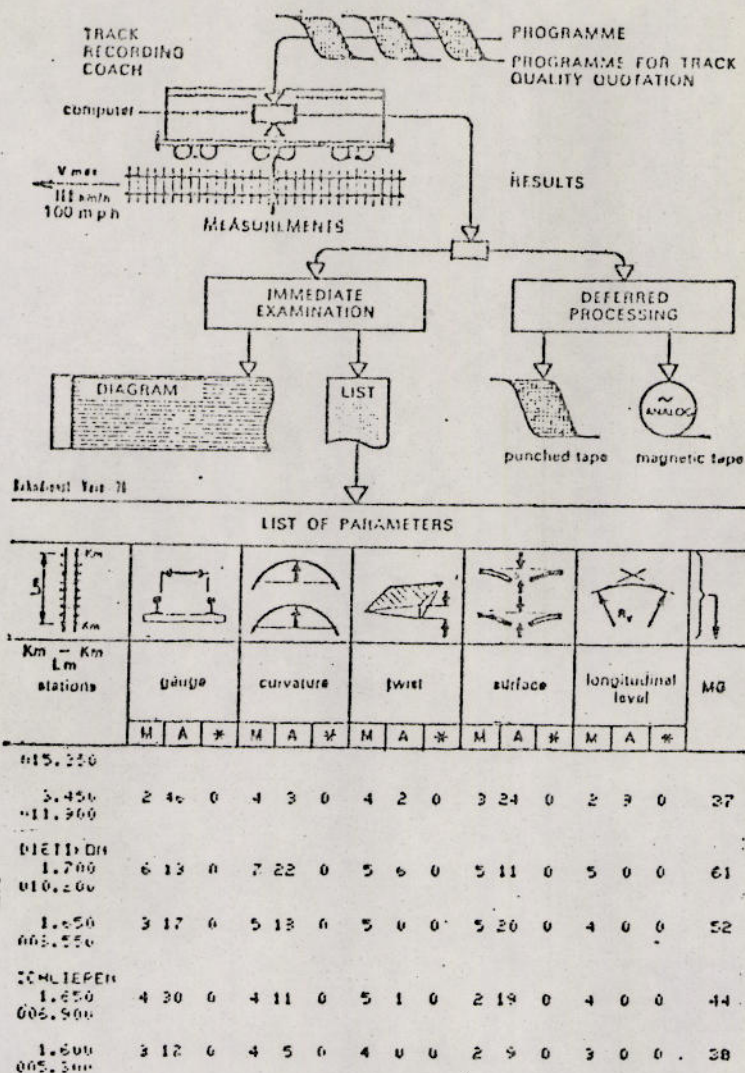


Figura 80 - Programa de levantamento de dados do carro-controle e analisados pelo computador.

