FERROVIAS

MANUAL DIDÁTICO

I. APRESENTAÇÃO

Este trabalho consiste em uma coletânea de informações sobre Ferrovias abrangendo, principalmente, tópicos relacionados à Via Férrea propriamente dita e ao Material Rodante Ferroviário, precedidos em sua exposição, pela conceituação e por um rápido Histórico do Modal Ferroviário, para melhor entendimento de sua inserção no atual sistema de transporte de cargas e passageiros, concluindo com a apresentação de Generalidades sobre o Esforço Trator e a Tração por Aderência, a Resistência ao Deslocamento das Composições Ferroviárias e a Programação e Circulação dos Trens.

II. BIBLIOGRAFIA

1. BRINA, H. L. (1983) – "Estradas de Ferro" – Vol. 1 e 2 – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A – Rio de Janeiro/RJ;
2. TOGNO, F.M. (1968) – "Ferrocarriles"; Representaciones e Servicios de Ingenieria S.A.; México;
3. SCHECHTEL, R. (1996) – "Notas de Aulas de Ferrovias" – Departamento do Livro Texto – Diretório Acadêmico de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná – DLT/DAEP- Curitiba/PR;
4. FURTADO NETO, A. (1999) – "Notas de Aulas de Ferrovias" – Originais do Autor; Curitiba/PR;
5. SEMCHECHEM, R. (1972) – "Manual do Trabalhador de Via Permanente"; RFFSA-SENAI;
6. DNEF/MT/CFN (1969) – "Normas Técnicas para Estradas de Ferro Brasileiras" ; DNEF;
7. HABITZREUTER, R. R. (2000) – "A Conquista da Serra do Mar"; Editora Pinha; Curitiba/PR.

1. INTRODUÇÃO

1.1. DEFINIÇÕES

Do Pequeno Dicionário da Língua Portuguesa, extraímos:

a) **Transportar**, vb. tr. Conduzir; levar de um lugar para outro; por em comunicação; (...); passar de um lugar para outro.
b) **Transporte**, s.m. Transportação; condução; veículo de carga; (...); ato ou efeito de transportar.
c) **Veículo**, s.m. Qualquer meio de transporte; carro; tudo o que transmite ou conduz; aquilo que auxilia ou promove; - espacial: (Astronáut.) engenho tripulado ou não que é lançado no espaço extraterrestre para missões de diversas naturezas.
d) **Ferrovia**, s.f. Via férrea; estrada de ferro.
e) **Ferroviário**, adj. Relativo à ferrovia; empregado em estrada de ferro.
f) **Modal**, adj. 2 gên. Relativo à modalidade; relativo ao modo particular de execução de alguma coisa;

Assim, podemos inferir que o transporte, entendido como condução ou ato de transportar, exige de modo geral, a utilização de veículos ou meios de transporte, para sua consecução. Mas, os veículos, para bem cumprirem suas funções devem deslocar-se sobre suportes físicos, em ambiente terrestre, hídrico, aéreo e mesmo no vácuo extraterrestre, através de rotas pré-estabelecidas, isto é, as vias de transporte. Assim sendo, podemos também dizer que a cada um destes diferentes ambientes corresponde um ou mais de um modo particular de execução do transporte, isto é, um diferente “modal de transporte”. Em ambiente terrestre, nos dias atuais, prevalecem os modais rodoviário e ferroviário sobre o tuboviário, por exemplo.

1.2. CONCEITUAÇÃO COMPARATIVA ENTRE OS PRINCIPAIS MODAIS TERRESTRES

Como se sabe, o transporte de cargas e passageiros entre localidades é necessário para a atividade econômica e pode ser efetuado por ambiente terrestre, hídrico, aéreo e até extraterrestre.

É normal traçarmos um paralelo entre as funções específicas das rodovias e das ferrovias, entendidas neste contexto, como suportes físicos dos modais rodoviário e ferroviário, no transporte de cargas e passageiros. Entretanto, a semelhança entre estes dois modais, vai

apenas até o ponto em que ambos são capazes de prestar serviços semelhantes e que de sua utilização obtém-se resultados até certo ponto idênticos, apenas que com menor ou maior economia de recursos.

A diferença fundamental entre os dois principais modais de transporte terrestre, é que:

- no modal rodoviário, o suporte físico que lhe serve como apoio, isto é, a RODOVIA, é um bem público ou privado, de **utilização extensiva**, à qual o usuário pode ter **acesso individual ou coletivo, de forma irrestrita**, desde que atenda a determinados regulamentos e leis gerais, atinentes ao trânsito de veículos;
- no modal ferroviário, o suporte físico, isto é, a FERROVIA, pelo contrário, apesar de poder ser também, um bem público ou privado, é de **utilização intensiva**, gerido por **empresas especializadas, com direito exclusivo de exploração**, obtido por concessão do poder público e cujo funcionamento assemelha-se ao de uma prestadora de serviços de **transporte especializado, em escala industrial.**

Assim sendo, a Via Férrea ou Ferrovia é apenas uma das partes que compõe o patrimônio de uma empresa prestadora de serviços de transporte ferroviário de cargas e passageiros.

O patrimônio destas empresas ferroviárias é constituído, basicamente, por:

- Capital Social;
- Patrimônio Imobiliário - (edificações administrativas, estações, faixa de domínio da via, oficinas, residências, etc.);
- Patrimônio Mobiliário Físico - (móveis e equipamentos de escritório, equipamentos de controle de tráfego, etc.);
- Patrimônio Mobiliário Financeiro – (direitos e patrimônio acionário aplicado em outras empresas de capital aberto, etc.);
- Via Férrea – (infraestrutura e superestrutura);
- Material Rodante – (locomotivas, vagões, etc.);
- Recursos Humanos – (pessoal de nível superior, médio e básico).

Neste manual didático, ocupar-nos-emos da análise de apenas duas destas partes, ou seja:

- Via Férrea;
- Material Rodante.

2. A FERROVIA E SUA INSERÇÃO NO MODERNO SISTEMA DE TRANSPORTES DO BRASIL

2.1. HISTÓRIA DA FERROVIA

Conforme nos mostra a Enciclopédia Delta Universal (1985), diversos países europeus serviam-se de vias sobre trilhos desde o início do século XVI. Essas vias destinavam-se, principalmente, ao transporte de carvão e minérios extraídos de minas subterrâneas. As vias de mineração eram constituídas por dois trilhos de madeira que penetravam até o interior das minas. Homens ou animais de tração movimentavam os vagões equipados com rodas dotadas de frisos, ao longo dos trilhos. Os vagões, logicamente, moviam-se com mais facilidade sobre estes trilhos do que sobre o chão irregular e úmido das minas.

No início do século XVII, as companhias mineradoras de carvão da Inglaterra iniciaram a construção de pequenas vias de trilhos de madeira, para transportar carvão na superfície e no subsolo. Cavalos eram utilizados para tracionar uma certa quantidade de vagões sobre estes trilhos. Em meados do século XVIII, os mineiros começaram a revestir os trilhos de madeira com tiras de ferro para torná-los mais resistentes e duráveis. Mais ou menos na mesma época, os ferreiros ingleses deram início a fabricação de trilhos, inteiramente, de ferro. Os trilhos eram munidos de bordas para conduzirem os vagões com rodas comuns de carroções. No final do século XVIII, os ferreiros estavam produzindo trilhos, inteiramente, de ferro, sem bordas que eram utilizados para conduzir vagões dotados de rodas com bordas ressaltadas.

Neste período os inventores já desenvolviam a máquina a vapor (James Watt, 1770). No início do século XIX, o inventor inglês Richard Trevithick, construiu a primeira máquina capaz de aproveitar altas pressões de vapor, para girar um eixo trator. Montou-a sobre um chassis de quatro rodas, projetado para deslocar-se sobre trilhos (Fig. 1).

Em 1804, Trevithick fez uma experiência com este veículo, puxando um vagão carregado com 9 toneladas de carvão, por uma via de trilhos com 15 km de extensão. Esta foi a primeira locomotiva bem-sucedida do mundo. Outros inventores logo seguiram seu exemplo, visando desenvolver e aperfeiçoar aquela ideia.

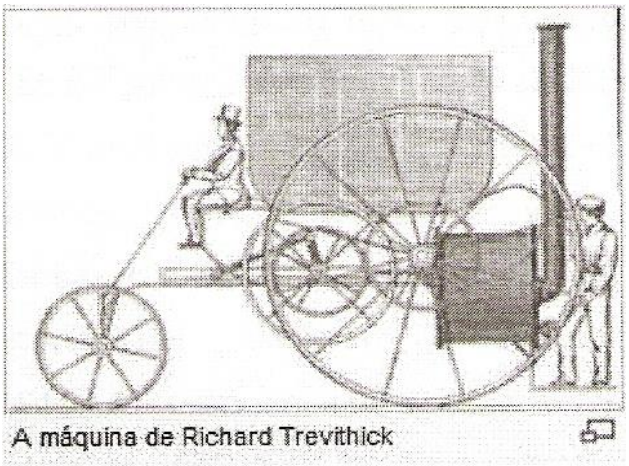

Fig. 1 – Primeira locomotiva a vapor (Fonte: www.pt.wikipedia.org/wiki/trem)

George Stephenson, um construtor inglês de locomotivas a vapor, construiu a primeira ferrovia pública do mundo, ligando Stockton a Darligton e que foi inaugurada em 1825. Cobria uma distância de 32 km. Tornou-se a primeira ferrovia, no mundo, a conduzir trens de carga, em horários regulares. Um ano antes, em 1824, Stephenson já havia vencido um concurso de velocidade para locomotivas, patrocinado pela companhia de transporte ferroviário Liverpool and Manchester Railway, com uma locomotiva chamada “The Rocket”.

Foi Stephenson quem primeiro identificou a necessidade de que as ferrovias de um país possuíssem uma bitola padronizada. A bitola adotada nas ferrovias por ele construídas (1,435 m), correspondia ao comprimento dos eixos das diligências hipotracionadas existentes na época (4’ 8 ½”), não havendo, ao que se saiba, outra justificativa técnica, para sua adoção. Em 1907, na Conferência Internacional de Berna (Suiça), esta bitola foi consagrada como “Bitola Internacional” e hoje é adotada na maioria das ferrovias europeias, norte-americanas e canadenses.

A construção de ferrovias difundiu-se rapidamente da Inglaterra, para todo o continente europeu. Por volta de 1870, a espinha dorsal da atual rede ferroviária da Europa, já havia sido construída. As linhas principais e auxiliares adicionais foram construídas durante o final do século XIX e princípio do século XX. Algumas destas linhas exigiram a construção de túneis através dos Alpes, para ligarem a França à Itália.

O Túnel Simplon que une a Itália à Suiça foi concluído em 1906 e com 20 km de extensão, é ainda um dos maiores túneis ferroviários do mundo.

Recentemente, em 2010, foi concluída a escavação do Túnel São Gotardo, também nos Alpes, com 57 km de extensão, ligando Erstfeld e Bodio, na Suiça. Este túnel supera o Túnel de Seikan, com 54 km que liga as cidades japonesas de Hokaido e Honshu sendo 7 km mais longo que o Eurotúnel, no Canal da Mancha, entre a Inglaterra e a França. O Túnel São Gotardo foi iniciado em 1998 e entrou em operação em 2016, consumindo ao final, a quantia de 7,5 bilhões de Euros. Estava prevista, em 2020, a passagem de 8 milhões de passageiros e 40 milhões de toneladas de carga por ano, por este túnel. Estimava-se que trafegariam por ele 250 comboios de carga e 65 de passageiros por dia, em velocidades de 150 km/h e 250 km/h, respectivamente. Com isso, cerca de 210 mil caminhões deixariam de trafegar nas rodovias alpinas. As rotas transalpinas são compostas ainda, por um túnel de 34,6 km a leste, o de Lötchberg, concluído em 2007, entre Frutigen e Raron e outro ao sul, com 15,4 km, entre Vigana e Vezia, programado para ficar pronto em 2019.

É interessante lembrar que no Brasil, o Túnel da Mantiqueira, na Ferrovia do Aço, trecho Jeceaba – Itutinga – Volta Redonda, no Município de Bom Jardim de Minas, ao sul de Minas Gerais, com 8.645 m, é o maior túnel da Ferrovia do Aço e da América Latina.

No final do século XIX, França e Alemanha construíram ferrovias em suas colônias africanas e asiáticas. A Inglaterra, também, promoveu a construção de quase 40.200 km de linhas férreas na Índia, no final do século XIX. A Rússia, que mais tarde, por algum tempo, fez parte da extinta União Soviética, iniciou em 1891, a construção dos 9.000 km de linhas da Ferrovia Transiberiana, concluída em 1916. A “Transiberiana”, é ainda hoje, a linha férrea contínua, mais extensa do mundo. A Austrália deu início aos trabalhos de construção de uma ferrovia através das planícies do sul do país, em 1912. A linha, concluída em 1917, foi concebida com 1.783 km, (mas alcançou 1.692,60 km na sua inauguração), ligando Port Augusta (Port Pirie), na Austrália do Sul, a Kalgoorlie, na Austrália Ocidental. Nesta ferrovia encontra-se a mais longa reta ferroviária do mundo, com 478 km, ligando Ooldea a Loongana.

Gradativamente, os engenheiros foram aumentando a potência e a velocidade das locomotivas a vapor. No final do século XIX, muitos trens já desenvolviam, com facilidade, 80 a 100 km/h. Neste período, já eram projetadas locomotivas elétricas. Em 1895, a Baltimore & Ohio Railroad, colocou em operação um trem elétrico, através de um túnel de 5.600 m, por baixo da cidade de Baltimore. Esta foi então a primeira empresa ferroviária a empregar a locomotiva elétrica em serviços ferroviários. Muitas ferrovias europeias eletrificaram suas linhas principais, a partir do

século XX. A eletrificação da Transiberiana só foi completada em 2002, 90 anos após sua inauguração.

Depois da metade do século XIX, as Ferrovias foram introduzindo o uso do aço na fabricação de trilhos e vagões. Os trilhos de aço, se descobriu, tinham durabilidade 20 vezes superior à dos trilhos de ferro e assim, foram aos poucos, substituindo estes últimos. Os primeiros vagões de carga ou de passageiros tinham estruturas frágeis, basicamente, de madeira. Os vagões de passageiros, fabricados, inteiramente, de aço, entraram em serviço regular, em 1907 e logo substituíram a maioria dos carros de madeira. Os primeiros vagões de carga, totalmente, de aço entraram em circulação mais cedo em 1896. No final da década de 1920, eles já haviam substituído, quase que totalmente, os vagões de madeira.

As primeiras ferrovias apresentavam índices de acidentes, extremamente, elevados. Em meados do século XIX, porém, importantes inovações melhoram o grau de segurança das estradas de ferro. Em 1869, o inventor norte-americano George Westighouse, patenteou o **Freio a Ar**. Com estes freios, os trens poderiam reduzir a velocidade ou parar, muito mais rapidamente, do que com os freios manuais, até então utilizados. Em 1873, outro inventor norte-americano, Ely Janney, patenteou um **Dispositivo de Engate de Vagões**, automático. Antes da invenção de Janney, a operação de engate era realizada manualmente. Muitos empregados, encarregados da operação dos freios e chaves perderam dedos e mãos, enquanto engatavam vagões.

A construção de linhas de telégrafos elétricos, na metade do século XIX, tornou possível o **Sistema de Sinalização por Zona**. Os sistemas manuais tornaram-se comuns antes do final do século. Em 1872, o engenheiro norte-americano William Robinson, patenteou o **Circuito de Linha**, usado em sistemas de sinalização automáticos. Os circuitos de linha, porém só foram, amplamente, empregados depois de 1900.

Enquanto isso, um número crescente de pessoas viajava de trem. As próprias ferrovias procuravam atrair os passageiros. Em 1867, um inventor e homem de negócios norte-americano, George Pullman, começou a fabricar um **Vagão Dormitório** que inventara no final da década de 1850. Outros vagões dormitório já se encontravam em uso antes do de Pullman entrar em serviço, mas este obteve uma aceitação muito maior que a dos demais. Por volta de 1875, cerca de 700 vagões dormitórios Pullman, circulavam nos Estados Unidos da América e em outros países. As ferrovias introduziram, também, luxuosos vagões restaurante e vagões salão, para atendimento aos viajantes.

A medida que distâncias maiores passaram a ser cobertas por redes de ferrovias e a competição com outros meios de transporte (hoje, chamados de modais), tornou-se mais acirrada, recrudesceu a necessidade de conseguirem-se maiores velocidades para as composições. Assim foi que começaram a ser desenvolvidos projetos de linhas e composições capazes de superar os 200 km/h, em meados do século XX. Hoje, existem exemplos de **Trens de Alta Velocidade** em, praticamente, todos os países que usam, extensivamente, o transporte ferroviário:

- ICE (Alemanha): 250 km/h;
- TGV - Train a Grande Vitesse (França): 320 km/h;
- THALIS - Trem Europeu (Internacional): 250 km/h;
- EUROSTAR (Reino Unido): 300 km/h;
- AVE – Alta Velocidade Espanhol (Espanha): 300 km/h;
- TALGO (Espanha): 220 km/h;
- SHINKANSEN – Trem Bala (Japão): > 300 km/h;
- MAGLEV – Transrapid de Xangai (China): 430 km/h.

2.2. A FERROVIA NO BRASIL

No Brasil, a primeira tentativa de implantação de uma ferrovia deu-se em 1835, quando o Regente Diogo Antônio Feijó, promulgou a Lei nº 10, de 31 de outubro de 1835, concedendo favores a quem quisesse construir e explorar uma estrada de ferro ligando o Rio de Janeiro, capital do Império, às capitais das Províncias de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia. Não apareceu, na ocasião, interessado em tão arriscada empreitada.

Em 1836, a Província de São Paulo (que nesta época, ainda incluía a Comarca de Curitiba), estabeleceu um plano de viação, concedendo o direito de construção e exploração a uma companhia que quisesse construir ligações ferroviárias entre suas principais cidades (Sorocaba, Santos, Curitiba). Foi, também, frustrada esta tentativa.

Em 1840, o médico inglês Thomas Cockrane, obteve concessão para fazer a ligação entre Rio de Janeiro e São Paulo, com vários privilégios. Malogrou também essa tentativa, porquanto, os capitalistas ingleses convidados a participar do empreendimento, não se dispuseram a investir nesta empresa de êxito duvidoso.

Em 1852, Irineu Evangelista de Souza, depois, Barão de Mauá, quase que apenas por sua conta e risco, construiu a ligação entre o Porto de Mauá (interior da Baía da Guanabara) e Fragoso, na Raiz da Serra (caminho de Petrópolis). Assim, em 1854, foi inaugurada a primeira Estrada de Ferro do Brasil, com 14,5 km de extensão (em bitola de 1,63 m) que foram percorridos em 23 minutos, a uma velocidade média de 38 km/h, por uma composição tracionada pela locomotiva "A Baroneza", nome este, dado em homenagem à esposa do, agora, Barão de Mauá.

Após a inauguração da Estrada de Ferro Mauá, sucederam-se as seguintes ferrovias, todas em bitola de 1,60 m:

Ferrovia	**Data da Inauguração**
Recife ao São Francisco	08/02/1858
D. Pedro II	29/03/1858
Bahia ao São Francisco	28/06/1860
Santos a Jundiaí	16/02/1867
Companhia Paulista	11/08/1872

Assim, vemos que a segunda ferrovia inaugurada no Brasil foi a Recife - São Francisco, no dia 8 de fevereiro de 1858, que mesmo não tendo atingido seu objetivo – o Rio São Francisco, desde Recife – contribuiu para criar e desenvolver as cidades por onde passava e constituiu o primeiro tronco da futura "Great Western Railway".

A Companhia Estrada de Ferro D. Pedro II foi organizada em 1855, também, pelo próprio Barão de Mauá e deu origem em 1889, à Estrada de Ferro Central do Brasil.

A Estrada de Ferro D. Pedro II foi inaugurada em 29 de março de 1858, com trecho inicial de 47,21 km, da Estação da Corte a Queimados, no Rio de Janeiro. Esta ferrovia se constituiu em uma das mais importantes obras da engenharia ferroviária do País, na ultrapassagem dos 412 metros de altura da Serra do Mar, com a realização de colossais cortes, aterros e perfurações de túneis, entre os quais o Túnel Grande com 2.236 m de extensão, na época o maior do Brasil, aberto em 1864.

Um dos fatos mais importantes na história do desenvolvimento ferroviário no Brasil foi a ligação Rio – São Paulo, unindo as duas mais importantes cidades do país, no dia 8 de julho de 1877, quando os trilhos da Estrada de Ferro São Paulo (inaugurada em 1867), uniram-se com os da E. F. D. Pedro II.

Até o final do século XIX, outras concessões foram outorgadas, agora na bitola métrica, entre elas, destacando-se as seguintes:

Ferrovia	Data da Inauguração
Companhia Mogiana	03/05/1875
Companhia Sorocabana	10/07/1875
Central da Bahia	02/02/1876
Santo Amaro	02/12/1880
Porto Alegre a Novo Hamburgo	14/04/1884
Dona Tereza Cristina	04/09/1884
Corcovado	09/10/1884
Paranaguá a Curitiba	02/02/1885

2.3. A ESTRADA DE FERRO NO PARANÁ

2.3.1. Os Caminhos Primitivos

Desde muito antes da emancipação política da Província do Paraná, em 1853, a preocupação com a abertura de caminhos era preponderante, entre os “curitibanos”.

Assim era que vários caminhos foram abertos pelos habitantes da região, na procura de estabelecer o contato entre as cidades do litoral e as do planalto.

O Economista Rubens R. Habitzreuter em seu livro “A Conquista da Serra do Mar”, de 2000, mostra que o ancestral e quase mítico, caminho do Peabiru era trilhado, já, pelos antigos habitantes das terras de Pindorama e ligava através da região da atual Palmas/PR a região do litoral sul do Brasil no Oceano Atlântico (Santo Amaro, São Vicente e Cananéia), às montanhas do Peru (riquíssimas em ouro e prata, segundo lendas e histórias, trazidas por aventureiros e exploradores da época) e também ao Oceano Pacífico. Mas, além deste, outros caminhos e trilhas foram descobertos e abertos, com grandes sacrifícios, pela então rarefeita população da região.

Entre os mais importantes, são lembrados os três caminhos da Serra do Mar:

- O **Caminho do Arraial**, o mais antigo que teve sua picada aberta por faiscadores e mineradores, segundo alguns relatos, entre 1586 e 1590 existindo, portanto, a mais de 400 anos. Seu nome teria surgido em

razão da existência do Arraial Grande, dos mineradores que a partir de uma trilha, abriram o caminho para facilitar seu trânsito entre a serra e o litoral. Era o caminho preferido das populações da Vila do Príncipe (Lapa) e São José dos Pinhais para alcançarem as cidades do litoral, chegando a Morretes, após a transposição da Serra do Mar, em um pequeno porto de rio chamado Porto do Padre Veiga, às margens do Rio do Pinto, nas cercanias do vilarejo.

- O **Caminho da Graciosa** foi aberto a partir de uma trilha primitiva utilizada pelos índios, na ligação entre o litoral e o planalto. Relatos de historiadores dão conta que esta trilha foi também, descoberta por faiscadores e mineradores de ouro que passaram a dela se utilizar para subir a serra e chegar ao planalto. Por ser mais longo do que os dois outros caminhos existentes, foi este, praticamente, abandonado pelos viajantes apesar das muitas tentativas de melhorias, feitas para obter-se um traçado que facilitasse o trânsito de muares com carga. Em 1721, o Ouvidor Pardinho em um de seus famosos Provimentos, determinou melhorias naquela trilha, para permitir o trânsito permanente de comboios de animais de carga. A abertura definitiva deste caminho foi ordenada apenas em 1807 pelo Governador Geral da então Capitania de São Paulo, o General Antônio José da Fonseca e Horta que obrigou as populações de Morretes e Antonina a contribuírem com recursos em dinheiro e trabalho braçal, na execução da obra. Em 1820, novos melhoramentos foram ordenados por D. João VI, atendendo a reclamos das populações das Vilas de Paranaguá e Curitiba. Em 1853, no dia seguinte a sua posse como primeiro presidente da recém criada Província do Paraná, Zacarias Góes de Vasconcelos determinou o início dos estudos para melhoria das ligações entre o litoral e o planalto, através da Serra do Mar, pelo Engenheiro Militar Henrique Beaurepaire Rohan, o qual concluiu que entre os três caminhos existentes, seria o da Graciosa aquele que melhor se prestaria ao fim pretendido, apesar de que segundo ele não poderia ser utilizado, como estava, no trecho da serra, por apresentar rampas, extremamente, íngremes na subida, impossibilitando o tráfego de carros, ao que propôs um novo traçado para o mesmo. Em 12 de agosto de 1854, através da Lei Imperial nº 9, D. Pedro II autorizou ao Governo da Província o início das obras da Estrada da Graciosa. Esta estrada foi entregue ao tráfego, apenas no início de 1873, sendo a segunda estrada calçada do País e ficando, por mais de 100 anos, como única ligação carroçável entre o litoral e o planalto, no Paraná. Romário Martins registra em seu livro “História do Paraná” que os trabalhos na Graciosa foram conduzidos, sucessivamente, pelos engenheiros: Henrique Beaurepaire Rohan, Saturnino Francisco de

Freitas Villalva, Marine Chandler, Antonio Pereira Rebouças Filho, Francisco Antonio Monteiro Tourinho e pelos ajudantes dos dois últimos, engenheiros - Luis Pereira Dias, Carl Gottlieb Wieland, Maurício Schwartz, Luis Azambuja Parigot e Roberto Ziempsen. É interessante comentar que enquanto administrava esta obra, Antonio Pereira Rebouças Filho, auxiliado por seu irmão André Rebouças, vislumbraram a possibilidade de construir uma estrada de ferro ligando Antonina a Curitiba. Consta que mais tarde, a ferrovia foi construída, no trecho da serra, sobre o traçado por eles, originalmente, proposto, através da garganta do Itupava.

- O **Caminho do Itupava** que foi aberto, por volta de 1625, nos mais remotos tempos do Brasil Colonial, foi o mais importante caminho para o trânsito de comerciantes e aventureiros, entre o planalto e o litoral. Segundo conta o historiador Vieira dos Santos sua primitiva trilha teria sido aberta por um caçador em perseguição a uma anta desde a Borda do Campo até a região de Porto de Cima sendo depois, cada vez mais procurada por caçadores, aventureiros e faiscadores de ouro. Além deste nome, já foi chamado de: Caminho Real; Caminho da Serra; Caminho de Morretes; Caminho de Coritiba; Caminho dos Jesuítas; etc. Eram péssimas as suas condições de tráfego, mas tinha a grande vantagem de ser o percurso mais curto entre os campos de Curitiba e o litoral. Foi por isso o Itupava, por mais de 200 anos, o caminho preferido dos viajantes. Se o destino fosse Morretes ou Porto de Cima, o Itupava tomava apenas dois dias de caminhada, enquanto que pelo do Arraial levava-se três dias e pelo da Graciosa, quatro. Em 1772, quase 150 anos depois da abertura de sua trilha primitiva, é que recebeu o caminho do Itupava seus primeiros melhoramentos, executados por Afonso Botelho de Sampaio e Souza, premido pela necessidade que tinha de transportar canhões e outros equipamentos pesados, para serem utilizados em suas Expedições aos campos de Guarapuava.

2.3.2. A Estrada de Ferro

Em 1871 - Primeira concessão de estradas de ferro, no Paraná, feita a Antônio Pereira Rebouças Filho, Francisco Antônio Monteiro Tourinho e Maurício Schwartz. Seria a Estrada de Ferro Dona Isabel, partindo de Antonina, passando por Morretes, seguindo até Curitiba. Não chegou a ter sua construção iniciada, por falta de financiamento. Em 1874, falece Antônio Rebouças (de maleita), em São Paulo. Neste mesmo ano os

direitos de construção desta estrada de ferro, foram transferidos para o Barão de Mauá.

Em 1872 – Segunda concessão de estradas de ferro, no Paraná, por Lei Provincial nº 306 e Decreto Imperial nº 5.053, a Pedro Aloys Scherer, José Maria da Silva Lemos Junior e José Gonçalves Pêcego Junior, de um trecho de estrada de ferro ligando Paranaguá a Morretes. Este Trecho teve sua construção iniciada em 02 de dezembro de 1873, constituindo-se então na primeira Estrada de Ferro a ter sua construção iniciada no Paraná. Foi paralisada poucos meses depois, por falta de financiamento.

Em 1875 – Decreto Imperial nº 5.912, determinou que o Ponto Inicial da Ferrovia ligando Curitiba ao Litoral, fosse o Porto D. Pedro II, em Paranaguá.

Em 1879 - Decreto Imperial nº 7.420, autoriza a transferência dos direitos de construção da ferrovia à empresa francesa, Companhie General de Chemins de Fer Brésiliens, associada à construtora Socyeté Anomnyme de Travaux Dyle e Bacalan, com sede em Louvain/Bélgica. Esta empresa foi que contratou o pessoal técnico e os engenheiros para a obra. O primeiro engenheiro a dirigir a obra, a partir de 20 de janeiro de 1880, foi o Comendador Antonio Ferrucci, de 50 anos, cuja experiência anterior incluía a construção de diversas ferrovias italianas e entre elas o trecho ferroviário Bologna-Ancona-Roma, a ferrovia Port Said-Suez e a participação na construção do próprio Canal de Suez, no Egito. Entre os diversos engenheiros, ajudantes de engenheiros, agrimensores, desenhistas, arquitetos, feitores e trabalhadores especialistas que com ele vieram da Europa, destacou-se o Mestre de Obras Antonio Vialle, de 32 anos que participou da construção de, praticamente, todas as grandes obras executadas na Serra do Mar.

Em 1880 – A 02 de fevereiro, foi iniciada a construção. A 05 de junho, teve lugar o lançamento da Pedra Fundamental da obra, pelo Imperador D. Pedro II, em visita que fez à Província do Paraná.

Em 17 de novembro de 1883, foi inaugurado para tráfego regular, o trecho Paranaguá – Morretes.

Em 1885 – A 02 de fevereiro, inauguração da Ferrovia, com a chegada da primeira composição ferroviária à Estação de Curitiba.

Fig. 2 - Casa Ipiranga – E. F. Paranaguá a Curitiba

Esta ferrovia tem 110 km de comprimento, 420 obras de arte, incluindo 13 túneis e 30 pontes, sendo 20 delas, no trecho entre Paranaguá e a Serra do Mar e ainda, vários viadutos, estando o ponto mais alto da linha a 955 m acima do nível do mar. A ponte sobre o Rio São João, é a mais alta, com 55 m de altura acima do leito do rio. O maior viaduto é o Viaduto do Carvalho que tem 84 m de comprimento, com 6 vãos de 12 e 16 m, apoiados em 5 pilares de alvenaria de pedra. Precisou de 3.253 m^3 de alvenaria e 442 t de aço, para sua construção e foi executado por empreitada pela empresa do engenheiro português Joaquim Condessa.

2.3.3. <u>Estrada de Ferro Central do Paraná</u>

Marcha do Oeste do Paraná foi impulsionada com abertura pela iniciativa privada, da estrada de ferro, que ligou os núcleos urbanos nascentes de Maringá, Paranavaí, Cruzeiro do Oeste e Campo Mourão, formados na área entre os rios Paraná, Paranapanema e Ivaí.

Em 1947, a Estrada de Ferro São Paulo-Paraná, estadualizada, chegara ao seu limite logístico, não dispondo mais de material rodante suficiente, nem de condições técnicas para dar vazão à produção daqueles municípios. A produção que a ferrovia não conseguia escoar, era transportada em caminhões até o Estado de São Paulo, para ser embarcado pela estrada de Ferro Sorocabana, ao porto de Santos. A outra alternativa era o difícil transporte por 500 km, pela Rodovia do Cerne, até o Porto de Paranaguá.

Até 1947 o Paraná ainda não tinha um plano consistente de integração dos modais de transporte.

Fig. 3 – Pinheiral em Água Branca - Paraná

Apenas no governo de Moisés Lupion, implementou-se um estudo mais geral de integração dos meios de transporte visando melhorar o escoamento da produção agrícola que já apresentava problemas graves de escoamento e estocagem.

1948 – Lei 48 - Alocação de recursos para o projeto da E. F. Central do Paraná;

1948 – 18/02/1948 - Início da execução do projeto pela empresa Byington & Cia.

1948 - 30/08/1948 – Início dos serviços de terraplenagem, pela mesma empresa.

A partir daí várias paralisações por falta de recursos do Estado e mesmo de interesse político pela obra, influíram na morosidade dos serviços. No Governo Ney Braga (1961/1963), por exemplo, o governo federal alegou que a ferrovia competiria com a Rodovia do Café, não havendo justificativa para tal investimento e suspendeu o financiamento.

Foi, finalmente, posta em operação em 1975, durante o Governo Federal de Ernesto Geisel (1975/80), sem cerimônia de inauguração (Governo Estadual de Emílio Gomes). Portanto, depois de quase 30 anos do seu início.

2.4. OUTRAS FERROVIAS REGIONAIS

Em 1884, concluiu-se a Estrada de Ferro dona Tereza Cristina, pioneira na Província de Santa Catarina, com extensão de 112 km, originária de uma concessão obtida pelo Visconde de Barbacena, com objetivo de trazer carvão de pedra das minas para o Porto de Imbituba.

No Rio Grande do Sul, construiu-se a primeira via férrea, por Lei Provincial de 1867 que autorizava o Governo a abrir concorrência para a concessão de uma estrada de ferro entre Porto Alegre e São Leopoldo ou Novo Hamburgo. A empresa concessionária foi autorizada a funcionar em 23 de novembro de 1871, como Companhia Limitada Estradas de Ferro de Porto Alegre a Novo Hamburgo. Em 14 de abril de 1874 foi inaugurada a seção de Porto Alegre a São Leopoldo, com extensão de 33,75 km.

No nordeste do País, salientam-se dois grandes empreendimentos ferroviários: a construção as estradas de ferro Recife ao São Francisco, e Salvador ao São Francisco, posteriormente interligadas e que passaram a integrar a malha ferroviária desta região, tendo como uma de suas finalidades o escoamento da produção da indústria canavieira e dos produtos manufaturados importados.

Em 17 de novembro de 1903, foi assinado o Tratado de Petrópolis, entre o Brasil e a Bolívia, pelo qual coube ao Brasil a obrigação de construir a Estrada de Ferro Madeira – Mamoré para compensar a cessão, pela Bolívia, da área do atual estado do Acre.

A função da ferrovia era permitir o transporte em trecho terrestre paralelo às corredeiras do Rio Madeira, as quais impediam a continuidade da navegação utilizada para escoar o látex de borracha, produzido na região norte da Bolívia. O traçado da ferrovia, com 344 km de linha, concluída em 1912, ligava Porto Velho a Guajará-Mirim, margeando os rios Madeira e Mamoré. Sua construção foi uma epopeia face às dificuldades encontradas na selva, pelos técnicos e trabalhadores, centenas deles, dizimados pela malária e febre amarela.

Pode-se destacar também, a construção da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, iniciada em 16 de julho de 1905, que atingiu Porto Esperança em 1914. Partindo de Bauru, esta Ferrovia atravessava os Estados de São Paulo e o atual Mato Grosso do Sul, chegando a Corumbá, na fronteira com a Bolívia, com a construção da Ponte Barão do Rio Branco (hoje, Ponte Eurico Gaspar Dutra), de concreto armado, com 2.000 metros de extensão, sobre o Rio Paraguai, em 1947. Fig. 4.

Fig. 4 – Ponte Eurico Gaspar Dutra, Passo do Jacaré, Rio Paraguai, MS/Brasil, com 2000 metros, em concreto armado. (Fonte: ITTI/DTT)

2.5. A EVOLUÇÃO DAS CONSTRUÇÕES FERROVIÁRIAS NO BRASIL

A evolução das construções ferroviárias no Brasil experimentou três fases distintas:

1ª Fase – Anterior à 2ª Grande Guerra, caracterizada por ter a maioria de suas linhas construídas e exploradas por concessões a empresas estrangeiras e também, por serem as construções feitas, manualmente e com utilização de "galeotas" tracionadas por tropas de muares, nos trabalhos de terraplenagem;

2ª Fase – Durante a 2ª Grande Guerra quando foram introduzidas as primeiras máquinas de terraplenagem, sendo que os movimentos de terra mecanizados permitiram a construção de linhas mais adequadas em termos geométricos;

3ª Fase – Após a 2ª Grande Guerra, caracterizada pelo uso generalizado de máquinas de terraplenagem, introdução da ciência da Mecânica dos Solos e dos levantamentos aerofotogramétricos. Isso possibilitou a construção de linhas geometricamente mais adequadas, com plataformas de melhor capacidade de suporte, melhores opções de traçado e custos mais otimizados.

Geograficamente, verifica-se que seguindo o movimento de interiorização, a penetração ferroviária também se deu no sentido leste para oeste, precisando atravessar regiões, altamente, adversas em termos topográficos, encontrando como obstáculo, em quase todo o território brasileiro (de Santa Catarina ao Espírito Santo), a Serra do Mar e paralelamente a ela ainda, a Serra da Mantiqueira. Isso, provavelmente, foi o que determinou a preferência pela adoção da bitola métrica, na maioria dos projetos, por se mostrar a mesma de construção e operação mais econômicas, nessas condições.

2.5.1. Crescimento das Estradas de Ferro no Brasil

PERÍODO	TOTAL CONSTRUÍDO	ACUMULADO TOTAL
- de 1854 a 1873	498 km	498 km
- de 1874 a 1913	23.485 km	23.983 km
- de 1914 a 1933	8.459 km	32.442 km
- de 1934 a 1943	1.698 km	34.140 km
- de 1944 a 1953	2.248 km	36.388 km

OBSERVAÇÕES:

- Em 1884, o País contava com 6.116 km de ferrovias, além de 1.650 km em construção. Em dezembro de 1888 existiam 9.200 km em exploração e 9.000 km em construção ou em estudo.

- Em 1922, ao se celebrar o 1º Centenário da Independência do Brasil, existia no País um sistema ferroviário com, aproximadamente, 29.000 km de extensão, cerca de 2.000 locomotivas a vapor e 30.000 vagões em tráfego.

- Nota-se que mesmo com a evolução da tecnologia de construção o crescimento da malha ferroviária não foi expressivo, mesmo a partir da 2ª Grande Guerra. Isto em grande parte deveu-se ao início da concorrência feita pela Rodovia, para cujo sistema, foram dirigidos os recursos governamentais, destinados à infraestrutura viária. **"Governar, é abrir estradas"** – dizia o Presidente Washington Luís, um político da chamada "República Velha", período anterior ao Estado Novo (1930), de Getúlio Vargas.

- Em 1930, introduzida a tração elétrica no Brasil, para substituir, em determinados trechos, a tração a vapor;

- Em 1939, iniciou-se a substituição da tração a vapor pela tração diesel-elétrica, processo esse, interrompido durante a Segunda Guerra Mundial e intensificado na década de 1950;

- Em 1942, foi criada a Companhia Vale do Rio Doce que absorveu a Estrada de Ferro Vitória a Minas (construída a partir de 1903). Esta ferrovia foi então modernizada com o objetivo de suportar o tráfego pesado dos trens que transportavam minério de ferro entre as jazidas de Itabira, em Minas Gerais e o Porto de Vitória, no Estado do Espírito Santo

- Até meados de 1960, a rede ferroviária brasileira chegou a atingir a marca de 37.200 km, de linhas, tendo então ficado estacionada nisso, durante muitos anos. Posteriormente, após a desativação de vários trechos considerados antieconômicos, chegou a ficar reduzida a 30.550 km, em 1979, caindo então o Brasil para o 4º lugar, em extensão ferroviária, nas Américas e 2º lugar na América do Sul (atrás da Argentina, com perto de 40.000 km de linhas instaladas).

2.5.2. Panorama Ferroviário nas Américas

- Até 1999, o panorama ferroviário nas Américas era, aproximadamente, o seguinte:

PAIS	EXTENSÃO DE FERROVIAS
1. Estados Unidos da América	240.000 km
2. Canadá	78.000 km
3. Argentina	32.694 km
4. Brasil	30.089 km
5. México	26.613 km
6. Chile	8.384 km

2.5.3. Sistema Ferroviário Nacional

Como citado anteriormente, as primeiras iniciativas nacionais relativas à construção de ferrovias remontam ao ano de 1828, quando o governo Imperial autorizou por Carta de Lei a construção e exploração de estradas em geral, tendo como propósito, a interligação das diversas regiões do País.

Em 26 de julho de 1852, o Governo Imperial promulgou a Lei nº 641, na qual vantagens do tipo isenções e garantia de juros sobre o capital investido, foram oferecidas às empresas nacionais ou estrangeiras que se interessassem em construir e explorar estradas de ferro em qualquer parte do território nacional.

A política de incentivos à construção de ferrovias, adotada então pelo Governo Imperial surtiu de imediato os efeitos desejados, desencadeando um saudável surto de empreendimentos em, praticamente, todas as regiões do País, a qual trouxe algumas consequências ao sistema ferroviário nacional que perduram até os nossos dias. Entre elas, podemos citar:

- Grande diversidade de bitolas que vem dificultando a integração operacional entre as diversas ferrovias;

- Traçados de estradas de ferro, excessivamente sinuosos e extensos;

- Estradas de ferro distribuídas pelo País, de forma dispersa e isolada.

Entretanto, preocupação com o planejamento integrado dos sistemas de transportes do Império pode ser vista no Plano de Ramos de Queiroz, publicado no ano de 1882, em que era preconizada a utilização dos rios principais do país, ao lado de vias férreas, a serem construídas onde aquelas vias naturais não se apresentavam convenientes ou suficientes para os fins desejados. Fig. 5.

Esta fase das empresas ferroviárias privadas e independentes entre si perdurou até o final da década de 1930, quando o Governo ditatorial de Getúlio Vargas iniciou um processo de saneamento e reorganização das estradas de ferro e promoção de investimentos, pela encampação de empresas estrangeiras e nacionais, inclusive estaduais que se encontravam em má situação financeira. Assim, foram incorporadas ao patrimônio da União várias estradas de ferro, cuja administração ficou a cargo da Inspetoria Federal de Estradas – IFE, órgão do Ministério de Viação e Obras Públicas, encarregado de gerir as ferrovias e rodovias federais.

Esta Inspetoria deu origem, posteriormente, ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER e ao Departamento Nacional de Estradas de Ferro – DNEF, sendo este último, criado pelo decreto Lei nº

3.155, de 28 de março de 1941. O DNEF foi extinto em dezembro de 1974 e suas funções foram transferidas para a Secretaria Geral do Ministério dos Transportes e parte para a Rede Ferroviária Federal S. A. – RFFSA.

Fig. 5 - Ferrovias do Plano Ramos de Queiroz - 1882 (Fonte: vfco.brazilia.jor/Planos-Ferroviários/1882)

A encampação das estradas de ferro pela União teve como principais objetivos: evitar a brusca interrupção do tráfego ferroviário, prevenir o desemprego, propiciar a melhoria operacional, objetivando a reorganização administrativa e a recuperação de linhas e material rodante.

No início da década de 1950, o Governo Federal, com base em amplos estudos decidiu pela unificação administrativa das 18 empresas

ferroviárias pertencentes à União que totalizavam 37.000 km de linhas espalhadas pelo território nacional.

Em 16 de março de 1957 foi criada pela Lei nº 3.115 a sociedade anônima Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA, com a finalidade de administrar, explorar, conservar, reequipar, ampliar e melhorar o tráfego das estradas de ferro da União a ela incorporadas, cujos trilhos atravessavam todo o país, servindo as regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul, padronizando os procedimentos e visando eliminar os grandes déficits que o sistema produzia.

Em 1969, as ferrovias que compunham a RFFSA foram agrupadas em quatro sistemas regionais:

- Sistema Regional Nordeste, com sede em Recife;
- Sistema Regional Centro, com sede no Rio de Janeiro;
- Sistema Regional Centro-Sul, com sede em São Paulo;
- Sistema Regional Sul, com sede em Porto Alegre.

Em novembro de 1971, pela Lei nº 10.410/SP, o governo do Estado de São Paulo, seguindo o mesmo critério, decidiu unificar em uma só empresa, as cinco estradas de ferro de sua propriedade. Naquela época, pertenciam ao Estado de São Paulo a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, Estrada de Ferro Sorocabana, Estradas de Ferro Araraquara, Companhia Mogiana de Estradas de Ferro e Estradas de Ferro São Paulo-Minas. Em decorrência desta junção, foi criada a FEPASA – Ferrovia Paulista S.A., para gerir, aproximadamente, 5.000 km de vias férreas.

Na década de 1970, dentro do programa de saneamento financeiro com a erradicação dos ramais antieconômicos, a RFFSA, estava contando com apenas 24.000 km de linhas e a malha brasileira com 30.500 km. Assim, em menos de 20 anos nossas ferrovias perderam cerca de 7.000 km de linhas.

O período áureo da RFFSA, sem qualquer dúvida, foi compreendido entre os anos de 1975 a 1984, quando foi modernizado, principalmente, o sistema suburbano do Grande Rio que adquirindo material rodante japonês da mais avançada tecnologia para a época, chegou a transportar cerca de 1,5 milhões de passageiros/dia.

Também, no segmento de cargas o material rodante, quer de tração, quer de transporte, foi todo modernizado, com aquisição de mais de 30.000

vagões e de aproximadamente 1.800 locomotivas, dos mais variados modelos.

Neste período, a via permanente, as obras de arte e os sistemas de comunicação e sinalização, também passaram por grandes reformas e atualização, retrocedendo apenas a eletrificação das linhas.

Em 1976, foi feita nova reestruturação na empresa federal, sendo criadas pela RFFSA as Superintendências Regionais – SRs, em número de 10, posteriormente, ampliado para 12, com atividades orientadas e coordenadas por uma Administração Geral, sediada no Rio de Janeiro.

2.5.3.1. O Desequilíbrio Financeiro e a Privatização do Sistema

Entretanto, já a partir de 1980, os sistemas ferroviários pertencentes à Rede Ferroviária Federal S.A - RFFSA e à Ferrovia Paulista S.A. – FEPASA começaram a ser afetados de forma dramática, quando os investimentos se reduziram, substancialmente, atingindo na RFFSA, em 1989, por exemplo, apenas 19% do valor aplicado na década de 1980. Assim, em 1984, a empresa viu-se impossibilitada de gerar recursos suficientes à cobertura dos serviços da dívida contraída. A RFFSA passou a suportar sério desequilíbrio técnico-operacional, decorrente da degradação da infra e da superestrutura dos seus principais segmentos de bitola métrica e da postergação de manutenção de material rodante que vieram a ocasionar expressiva perda de mercado para o modal rodoviário.

Medida de ajustamento institucional foi então tomada pelo Governo Federal, com afastamento da RFFSA dos transportes urbanos. O Decreto nº 89.396, de 22/02/1984, constituiu a Companhia Brasileira de Transporte Urbano – CBTU, a partir da extinta ENGEFER, antes encarregada da construção da Ferrovia do Aço, a qual ficou responsável pela prestação daqueles serviços. Note-se que estes, na maioria dos casos, são até hoje, altamente deficitários.

Impossibilitado de gerar os recursos necessários para continuar financiando os investimentos, o Governo Federal colocou em prática ações voltadas à concessão de serviços públicos de transporte de carga à iniciativa privada.

Foi editada, assim, a Lei nº 8.031/90 e suas alterações posteriores que instituíram o Programa Nacional de Desestatização – PND, sendo a RFFSA incluída no referido Programa, em 10/03/92, por meio do Decreto

nº 473/92. Neste processo atuou como gestor o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES que nos termos do Decreto nº 1.024/94, elaborou a forma e as condições gerais para concessão das malhas da RFFSA.

O processo de desestatização da RFFSA foi realizado com base na Lei nº 8.987/95, (Lei das Concessões). Esta lei estabeleceu os direitos e obrigações para as partes envolvidas no processo de concessão, por um período de 30 anos, prorrogáveis por mais 30, definindo ainda, o princípio da manutenção do equilíbrio econômico e financeiro e os direitos dos usuários. O processo obedeceu a seguinte cronologia:

Malhas Regionais	Data do Leilão	Concessionárias	Início de Operação	Extensão (km)
Oeste	05.03.1996	Ferrovia Novoeste S.A.	01.07.1996	1.621
Centro-Leste	14.06.1996	Ferrovia Centro-Atlântica S.A.	01.09.1996	7.080
Sudeste	20.06.1996	MRS Logística S.A.	01.12.1996	1.674
Tereza Cristina	26.11.1996	Ferrovia Tereza Cristina S.A.	01.02.1997	164
Nordeste	18.07.1997	Cia Ferroviária do Nordeste	01.01.1998	4.238
Sul	13.12.1996	Ferrovia Sul-Atlântico S.A. (posteriormente) ALL - América Latina Logística S.A.	01.03.1997	6.586
Paulista	10.11.1998	Ferrovia Bandeirantes S.A.	01.01.1999	4.236

Com o leilão da Malha Paulista (antiga FEPASA, incorporada à RFFSA pelo Decreto nº 2.502/98, em 18/02/1998), concluiu-se o processo de desestatização das malhas da RFFSA.

Em 28/06/1997, o Governo Federal outorgou à Companhia Vale do Rio Doce - CVRD, no processo de sua privatização, a exploração por 30 anos, prorrogáveis por mais 30, da Estrada de Ferro Vitória a Minas e da Estrada de Ferro Carajás, utilizadas, basicamente, no transporte de minério de ferro desta companhia.

Em 07/12/1999, o governo Federal, com base na Resolução nº 12, de 11/11/1999, do Conselho Nacional de Desestatização e por intermédio do Decreto nº 3.277, dissolve, liquida e extingue a Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA.
Atualmente, cabe à Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, a responsabilidade pela fiscalização e controle das malhas da antiga

RFFSA e das Estradas de Ferro da Companhia Vale do Rio Doce, hoje Vale S. A., além, ainda das seguintes concessões menores:

- Ferrovias Norte do Brasil S.A.- FERRONORTE;
- Estrada de Ferro São João Del Rey a Tiradentes;
- Estrada de Ferro Jari;
- Estrada de Ferro Trombetas (E. F. Mineração Rio do Norte);
- Estrada de Ferro Votorantin;
- Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A.- FERROESTE.

De forma abrangente considerando-se as empresas que se dedicam ao transporte de cargas e passageiros, por via férrea, o panorama do sistema ferroviário brasileiro, atualizado até 2008, era o seguinte:

Operadoras Reguladas pela ANTT	**Origem**	**Bitola**				
		1,60	**1,00**	**1,435**	**Mista**	**Total**
ALLMO - América Latina Logística Malha Oeste (NOVOESTE)	RFFSA	-	1.945	-	-	1.945
FCA – Ferrovia Centro Atlântica	RFFSA	-	7.910	-	156	8.066
MRS – MRS Logística	RFFSA	1.632	-	-	42	1.674
FTC – Ferrovia Tereza Cristina	RFFSA	-	164	-	-	164
ALLMS – América Latina Logística Malha Sul	RFFSA	-	7.293	-	11	7.304
FERROESTE - Estrada de Ferro Paraná-Oeste		-	248	-	-	248
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas		-	905	-	-	905
EFC – Estrada de Ferro Carajás		892	-	-	-	892
TNL – Transnordestina Logística (CFN)	RFFSA	-	4.189	-	18	4.207
ALLMP - América Latina Logística Malha Paulista (FERROBAN)	RFFSA	1.463	243	-	283	1.989
ALLMN - América Latina Logística Malha Norte (FERRONORTE)	-	500	-	-	-	500
VALEC/Sub-concessão: Ferrovia Norte-Sul	-	420	-	-	-	420
Subtotal	**-**	**4.907**	**22.897**	**-**	**510**	**28.314**
Demais Operadoras	**Origem**	**Bitola**				
		1,60	**1,00**	**1,435**	**Mista**	**Total**
CBTU	RFFSA	63	149	-	-	212
CPTM / Supervia / Trensurb / CENTRAL	-	537	75	-	-	612
Trombetas / Jari / Votorantim	-	88	35	-	-	123
Corcovado / Campos do Jordão	-	-	51	-	-	51
E. F. Amapá	-	-	-	194	-	194
Metro do Rio de Janeiro	-	47	-	-	-	47
Metro de São Paulo	-	62	-	-	-	62
Metro de Brasília	-	42	-	-	-	42
Subtotal	**-**	**839**	**310**	**194**	**-**	**1.343**
TOTAL	**-**	**5.746**	**23.207**	**194**	**510**	**29.657**

Fig. 6 – Sistema Ferroviário Nacional (Fonte: ANTT-2009)

Observações:

- O Estado do Paraná detém a concessão da FERROESTE;

- As Ferrovias Trombetas, Jari e Votorantin, são industriais e locais;

- A Estrada de Ferro São João Del Rey a Tiradentes é de cunho turístico, tem 13 km e opera em bitola de 762 mm (bitolinha);

- A CBTU e as Ferrovias Corcovado, Campos do Jordão e TRENSURB só transportam passageiros;

- São operadoras públicas: CBTU, CENTRAL, CPTM e TRENSURB. As demais são operadoras privadas;

- A extensão de linhas eletrificadas é de 549 km e são utilizadas no transporte de passageiros em regiões metropolitanas;

- Observa-se que a malha é mais densa na região sul (Fig. 6);

- Somente nos estados do Mato Grosso do Sul e do Rio Grande do Sul, é que o Sistema Ferroviário chega às fronteiras dos países limítrofes (Argentina, Bolívia e Uruguai);

- Em 2002, a Ferrovia Novoeste foi fundida à Ferrovia Bandeirantes S. A. (FERROBAN) e às Ferrovias Norte do Brasil S. A. (FERRONORTE), formando o Grupo Brasil Ferrovias;

- Em 2006, com a aquisição da Brasil Ferrovias e Novoeste do Brasil, a ALL – América Latina Logística S. A. passou a atuar também em áreas estratégicas do Centro-Oeste e de São Paulo, tornando-se a maior companhia logística com estrutura ferroviária, no Brasil;

- Em 2007, a operação do trecho da Ferrovia Norte-Sul (FNS), entre Açailândia (MA) e Palmas (TO), foi concedida pela VALEC, à VALE, por um período de 30 anos;

- Em 2008, a razão social da Companhia Ferroviária do Nordeste S. A. – CFN, mudou para Transnordestina Logística S. A - TNL;

- Em 2008, o Brasil possuía 29.670 km de ferrovias em estado operacional, 2.817 locomotivas e 90.708 vagões ferroviários;

- Em 2008, o sistema transportou 426,5 milhões de toneladas úteis de carga, produzindo 164,81 bilhões de tku e 1,55 milhões de passageiros/ano, de interior e 7,5 milhões de passageiros/dia, de subúrbio;

- Em 2008, sua participação na matriz do transporte de cargas do país, foi de **20,7%**, contra **61,1%**, das rodovias, **13,6%**, das hidrovias e **4,6%** de outros modais.

- Em 2011, A Diretoria de Logística e Cargas Gerais da VALE criou a empresa VLI que incorporou a ferrovia FCA, adquirida pela VALE, na privatização da RFFSA, além da FNS, adquirida pela VALE em 2007 e

ainda terminais de transbordo de grãos e terminais portuários no Maranhão, São Paulo, Espírito Santo e Sergipe;

- Em 2014, em abril, a VALE concluiu a venda de 20% e 15,9%, respectivamente, para a Mitsui e o Fundo de Investimento do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FI-FGTS). Em agosto, foi a vez da Brookfield Asset Management arrematar 26,5% da empresa, tirando a VALE do controle da VLI;

- Em 2015, nasceu a RUMO, resultante da fusão entre a rumo Logística Operadora Multimodal S. A., braço de logística do Grupo COSAN e a América Latina Logística S. A. (ALL);

- Em 2017, as operadoras ferroviárias associadas à ANTF (Associação Nacional de Transportes Ferroviários), iniciam seus processos individuais de prorrogação antecipada dos contratos de Concessão;

-Historicamente, em números inteiros, podemos dizer que a participação do Sistema Ferroviário na matriz do transporte de cargas do país, tem sido, na média de 20%, contra 60%, das rodovias, 15%, das hidrovias e 5% de outros modais.

2.6. SETORES DE ATUAÇÃO DA FERROVIA

Os serviços de transporte ferroviário desenvolvem-se em dois setores principais:

a) Transporte de passageiros;
b) Transporte de cargas.

Por muito tempo, as ferrovias, praticamente, monopolizaram o setor de serviços de transporte terrestre de cargas e passageiros. Isto durou enquanto foram as máquinas a vapor, a principal forma de motorização dos equipamentos de transporte.

Com o surgimento do motor à explosão e a construção das primeiras estradas de rodagem, a ferrovia passou a sofrer a influência daqueles que seriam seus mais fortes concorrentes: o ônibus e o caminhão.

Nos últimos anos, verifica-se o aumento de movimentação de mercadorias e redução da quantidade de passageiros transportados, nas ferrovias do Brasil.

2.6.1. Transporte de Passageiros

A causa principal da queda do transporte ferroviário de passageiros foi a expansão e melhoria do sistema rodoviário, com a canalização de grande quantidade de recursos públicos dos governos Federal, Estaduais e Municipais, para esta área de investimento.

O transporte ferroviário de passageiros pode ser dividido em:

a) **Transporte de Passageiros de Interior** – é o transporte de passageiros à longa distância (e que vem se reduzindo, gradativamente, nos últimos anos).

b) **Transporte de Passageiros de Subúrbio** – é um tipo de transporte de cunho, marcadamente, social e que encontra sua maior demanda nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo.

Nos países mais desenvolvidos, o transporte de passageiros por ferrovias aumenta a cada dia, chegando a concorrer com o avião, em linhas de longas distâncias, pois, considerando-se o tempo de aeroportos, mais o tempo de voo, em muitos casos, a opção ferroviária chega a ser a mais vantajosa, porquanto as estações e terminais ferroviários costumam ser mais centrais que os aeroportos.

Entre as concessionárias privadas, oriundas dos sistemas operados pela RFFSA e Cia Vale do Rio Doce – CVRD, apenas as concessões da EFVM e EFC contemplam o Transporte Regular de passageiros de longa distância:

- Alguns números sobre o transporte de passageiros por ferrovias, no Brasil:

a) Passageiros de Interior

Transporte Regular de Passageiros*							
Concessionárias	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
EFVM	1,10	1,10	1,10	1,14	1,10	1,08	0,78**
EFC	0,40	0,40	0,40	0,34	0,27	0,33	0,28**
Serra Verde Express	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,10***
TOTAL	1,63	1,63	1,63	1,60	1,50	1,55	1,16

* - Em milhões de passageiros/ano;
**- Até outubro de 2009 – dados em consolidação;

***- Até setembro de 2009 – dados em consolidação.

b) Passageiros Urbanos e de Subúrbio

MÉDIA DIÁRIA P/ DIA ÚTIL – Nº DE PASSAGEIROS /DIA			
OPERADORA	**1993**	**2002**	**2009**
CBTU (Natal, Salvador, Maceió, João Pessoa, Belo Horizonte e Recife)			312.000
Supervia/RJ	400.000		450.000
CPTM/SP*	450.000		1.940.000
Trensurb/Porto Alegre			300.000
METRO/RJ	350.000	420.000	1.100.000
METRO/SP	2.100.000	2.500.000	3.300.000
METRO/DF	145.000		150.000

(*) – Trem Metropolitano

Obs.: - Em Curitiba, o sistema de transporte coletivo movimentou em 2010, 2.400.000 passageiros/dia (Wikipedia) e em 2016, transportou 1.700.000, apenas

Apesar de que sejam estes dados incompletos para uma correta atualização, parece que se confirma a suposição de que o futuro do transporte de passageiros, por ferrovias estará ligado, fortemente, às regiões metropolitanas dos grandes centros urbanos, para as quais será imprescindível um eficiente transporte de massas, seja nos deslocamentos urbanos, seja nas ligações entre grandes centros populacionais, onde os transportes rodoviários, já dão sinais de terem atingido seu ponto de saturação.

2.6.2. Transporte de Cargas

No Brasil, a grande vocação das ferrovias, é o transporte de cargas com elevada concentração, principalmente, granéis, produtos siderúrgicos e cargas unitizadas (contêineres).

Visando a recuperação econômico-financeira, a ferrovia brasileira passou a incrementar nos últimos anos, transportes mais rentáveis, em virtude da “escala” de volumes transportáveis.

São cargas ferroviárias típicas, atualmente, no Brasil:
- minério de ferro;
- aço;

- carvão mineral;
- ferro gusa;
- coque;
- escória;
- calcário;
- derivados de petróleo;
- álcool;
- clínker;
- fosfato;
- bauxita;
- soja;
- trigo ;
- milho;
- adubos;
- produtos tóxicos;
- forragens;
- açúcar;
- madeira;
- cimento.

Outros tipos de mercadoria, também encontram boa aceitação, pela ferrovia:
- automóveis (FIAT/MG);
- caminhões (VOLVO/PR);
- movimentação de contêineres.

2.6.2.1. Distribuição do Transporte de Cargas por Via Férrea, no Brasil (2008)

Nº	Concessionária	Carga Transportada (em milhões de tu)	%
1.	EFVM (VALE)	133,2	31,23%
2.	EFC (VALE)	103,7	24,31%
3.	MRS	119,8	28,09%
4.	ALLMS	26,8	6,28%
5.	FCA (VLI)	19,3	4,53%
6.	Outras	23,6	5.53%
	TOTAL	426,5	100,00%

Obs.: A Companhia Vale do Rio Doce, hoje VALE S.A. (EFVM e EFC), responde por mais da metade do transporte ferroviário de cargas (minérios com alto peso específico).

Características da produção de transporte ferroviário das concessionárias, em 2008:

Concessionárias	Clientes	Principais Produtos Transportados
ALLMO (NOVOESTE)	24	Minério de ferro, soja e farelo, açúcar, manganês, derivados de petróleo e álcool e celulose
FCA (VLI)	262	Soja e farelo, calcário siderúrgico, minério de ferro, fosfato, açúcar, milho e adubos e fertilizantes
MRS	119	Minério de ferro, carvão mineral, produtos siderúrgicos, ferro gusa, cimento, soja
FTC	8	Carvão mineral
ALLMS (ALL)	377	Soja e farelo, açúcar, derivados de petróleo e álcool, milho, cimento
FERROESTE	29	Soja e farelo, milho, contêineres, trigo
EFVM	123	Minério de ferro, carvão mineral, coque, produtos siderúrgicos, ferro gusa, cimento, soja
EFC	29	Minério de ferro, ferro gusa, manganês, coque, produtos siderúrgicos, celulose
TNL (CFN)	85	Cimento, derivados de petróleo, alumínio, calcário, coque
ALLMP (FERROBAN)	119	Açúcar, cloreto de potássio, adubo, calcário, derivados de petróleo e álcool
ALLMN (FERRONORTE)	44	Soja e farelo, milho, óleo vegetal, adubo, combustíveis
FNS (VLI)	7	Soja e farelo, areia, fosfato, cloreto de potássio

2.6.2.2. Matriz de Transporte de Cargas do Brasil

Ao longo dos últimos anos, o comportamento da Matriz de Transporte de Cargas no Brasil pode ser resumido pela seguinte tabela:

DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS ENTRE OS MODAIS (%)										
MODAL	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008***
Rodovia	56	60,49	61,1	60,5	61,8	63	61,02	60,4	61,1	60,49
Ferrovia	23	20,86	20,7	20,9	19,5	20	20,8	20,9	20,7	20,86
Hidrovia	17	13,86	14,7	14,10	13,8	13	13,5	13,9	13,6	13,86
Outros	4	4,79	3,5	4,5	4,9	4	4,1	4,8	4,6	4,79

(*) Dados de fonte não consolidada (Gabinete da Presidência da República- PAC, 2008).

2.6.3. <u>Análise Comparativa de Consumo de Óleo Diesel</u>

2.6.3.1. Equipamento

EQUIPAMENTO	**LOCOMOTIVA DIESEL**	**CAMINHÃO (TOCO)**
POTÊNCIA (kW)	970	190
CARGA ÚTIL (t)	500	10
CONSUMO (l / km)	3,5	0,5

2.6.3.2. Consumo

MODAL	**RODOVIÁRIO**		**FERROVIÁRIO**		**DIFERENÇA**	
DISTÂNCIA (km)	TOTAL LITROS	LITROS P/ TON.	TOTAL LITROS	LITROS P/ TON.	TOTAL LITROS	LITROS P/ TON.
100	2.500	5	350	0,7	2.150	4,3
400	10.000	20	1.400	2,8	8.600	17,2
4.000	100.000	200	14.000	28,0	86.000	172,0

Obs.: Quanto maiores as distâncias, maior a economia proporcionada pela ferrovia.

2.6.4. <u>Consumo de Óleo Diesel no Transporte de Cargas, no Brasil</u>

Os relatórios de balanço energético nacional de 1987 a 2008 permitem fazer o seguinte quadro comparativo:

CONSUMO DE ÓLEO DIESEL (milhões de t)				
MODAL	**Media 1987/1996**	**%**	**2008**	**%**
RODOVIÁRIO	16,53	95,1	32,71	96,6
FERROVIÁRIO	0,50	2,9	0,69	2,0
HIDROVIÁRIO	035	2,0	0,48	1,4
TOTAL	17,38	100,0	33,88	100,0

Observações:

- Em média, **95% do óleo diesel utilizado em transportes, no Brasil, até 1997, era consumido no transporte rodoviário** (caminhão e ônibus) e este panorama agravou-se, considerando-se os dados de **2008, quando chegou a quase 97%**;

- Isto indica uma **grave distorção estratégica, o chamado paradoxo do transporte brasileiro**, priorizando o **transporte rodoviário, menos eficiente e mais caro para longas distâncias,** o que só faz **agravar, ao longo dos anos, o que vem sendo, já a algum tempo, chamado de "Custo Brasil", o qual agrega à produção nacional um custo extra de, aproximadamente, 36%, se comparada com a chinesa, por exemplo;**

- Com isso temos no Brasil um transporte, relativamente, caro;

- **Peso excessivo do item transporte no custo dos produtos movimentados**, no território nacional;

- **Diminuição da competitividade dos produtos** brasileiros no mercado internacional (exportações);

- **Aumento do nº de acidentes rodoviários**, com prejuízos materiais e em vidas humanas;

- **Desgaste prematuro dos pavimentos** rodoviários, com maiores custos de manutenção.

2.6.5. Análise de Consumo de Energia em Transportes no Brasil

MATRIZ DE TRANSPORTE DE CARGAS X CONSUMO DE DIESEL (2008)*				
MODAL	% CARGA TRANSP	QUANT. TRANSP (MILHÕES DE tku)**	% ÓLEO DIESEL CONSUMIDO	QUANT. DE ÓLEO DIESEL CONSUMIDO (MILHÕES DE t)
RODOVIAS	61,1%	485625	96,6%	32,71
FERROVIAS	20,7%	164809	2,0%	0,69
HIDROVIAS	13,6%	108000	1,4%	0,48
OUTROS	4,6%	36469	---	---
TOTAIS	100,0%	794903	100,0%	33,88

- RODOVIAS – 32,71/ 485625 = 0,0674 t óleo/tku = 67,4 x 10^{-3} litros de óleo por tku (tonelada quilômetro útil);
- FERROVIAS – 0,69 / 164809 = 0,0042 t óleo/tku = 4,2 x 10^{-3} litros de óleo por tku (tonelada quilômetro útil);
- HIDROVIAS – 0,48 / 108000 = 0,0044 x t óleo/tku = 4,4 x 10^{-3} litros de óleo por tku (tonelada quilômetro útil);
- TOTAIS - 33,88 / 794903 = 0,0426 t óleo/tku = 42,6 x 10^{-3} litros de óleo por tku (tonelada quilômetro útil).

Em resumo: em termos de consumo de energia**:**
Hidrovia e ferrovia são equivalentes em termos de consumo de energia, sendo 16,3 x (vezes), mais econômicas que a rodovia.

* números de 2008
** ver glossário de terminologia básica nos anexos deste manual

3. A VIA FÉRREA

3.1. INTRODUÇÃO

A Via Férrea ou Ferrovia é apenas uma das partes que compõe o patrimônio de uma empresa prestadora de serviços de transporte ferroviário de cargas e passageiros constituindo-se, em última análise, no “suporte físico” para o modal terrestre ferroviário.

Assim entendida, a Via Férrea é então formada pela infraestrutura e superestrutura ferroviárias.

3.2. INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA

A Infraestrutura Ferroviária é composta pelas **Obras de Terraplenagem, Obras de Arte Corrente** e **Obras de Arte Especiais**, situadas, normalmente, abaixo do greide de terraplenagem.

a) Obras de Terraplenagem

a.1) Cortes: em caixão e em meia encosta;
a.2) Aterros.

b) Obras de Arte Corrente

São assim chamadas por que podem obedecer a projetos padronizados.

b.1) Superficiais:
b.1.1) Sarjetas;
b.1.2) Valetas: de proteção de crista ou de contorno; laterais ou de captação (montante) e de derivação (jusante);
b.1.3) Descidas d'água ou rápidos;
b.1.4) Bacias de dissipação;
b.1.5) Bueiros: abertos; fechados (tubulares ou celulares); de greide;
b.1.6) Pontilhões;

b.2) Profundas
b.2.1) Drenos longitudinais de corte;
b.2.2) Espinhas de peixe;
b.2.3) Colchão drenante; etc.

b.3) Sub-horizontais: drenos sub-horizontais de taludes;

c) Obras de Arte Especiais

Devem ser objeto de projetos específicos.

c.1) Pontes, pontilhões e viadutos: com estrutura metálica; em concreto armado ou protendido;

c.2) Túneis: escavados ou falsos;
c.3) Contenções de talude: muros grelhas; cortinas; etc.;
c.4) Passagens: superiores; inferiores; travessias (linhas de telecomunicação; condutores de energia em baixa ou alta tensão; tubulações de líquidos ou gases).

Observações:

1) No conjunto, as obras de arte da infraestrutura ferroviária, praticamente, não diferem das obras de arte rodoviárias.
2) A superfície final de terraplenagem chama-se leito ou plataforma da estrada de ferro.

Na construção das primeiras ferrovias, pouca importância era dada ao estudo da infraestrutura, quanto aos materiais (solos), em que eram feitos os cortes ou com que se construíam os aterros.

A partir da metade do século XX, é que começaram a aparecer na literatura técnica, destaques à importância do estudo pormenorizado da plataforma em termos de: forma, constituição e tensões a que estivesse a mesma sujeita, em função das exigências do tráfego. Estes estudos tiveram lugar, inicialmente, em países de grande desenvolvimento ferroviário, como: Alemanha, França, Estados Unidos da América, Inglaterra e Rússia. Nestes países, destacaram-se, entre outros, os engenheiros: J. Einsenmann, Talbot, Schram, Lomas, Timoshenko e R. Soneville.

Pela técnica moderna de construção das estradas de ferro, o corpo dos aterros, até 1,0 m abaixo do greide de terraplenagem, é compactado em camadas, devendo obter-se peso específico aparente correspondente a 95% de peso específico obtido no ensaio de laboratório (Proctor) e nas camadas finais, correspondentes ao último metro, 100% do peso específico, acima referido.

3.3. SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA

A **Superestrutura** das Vias Férreas é constituída pela **Plataforma Ferroviária** e pela **Via Permanente** as quais estão sujeitas à ação de desgaste do meio ambiente (intempéries) e das rodas dos veículos.

A Superestrutura é construída de modo a poder ser restaurada sempre que seu desgaste atingir o limite de tolerância definido pelas normas de segurança e de comodidade de circulação dos veículos ferroviários, podendo mesmo vir a ser substituída em seus principais componentes, quando assim o exigir a intensidade do tráfego ou o aumento de peso do material rodante.

Os três elementos principais da Superestrutura e que compõe a Via Permanente são: o **Lastro**, os **Dormentes** e os **Trilhos**. Os trilhos constituem o apoio e ao mesmo tempo a superfície de rolamento para os veículos ferroviários. Estes três elementos, citados acima, apoiam-se sobre a **Plataforma Ferroviária**.

3.3.1. Plataforma Ferroviária

Plataforma Ferroviária ou Coroa do Leito Ferroviário é em princípio, a superfície final resultante de terraplenagem que limita a Infraestrutura. Fig. 7. É considerada como suporte da estrutura da via, da qual recebe, através do lastro, as tensões devidas ao tráfego e também às cargas das demais instalações necessárias à operação ferroviária (posteamento, condutores, cabos, sinalização, etc.).

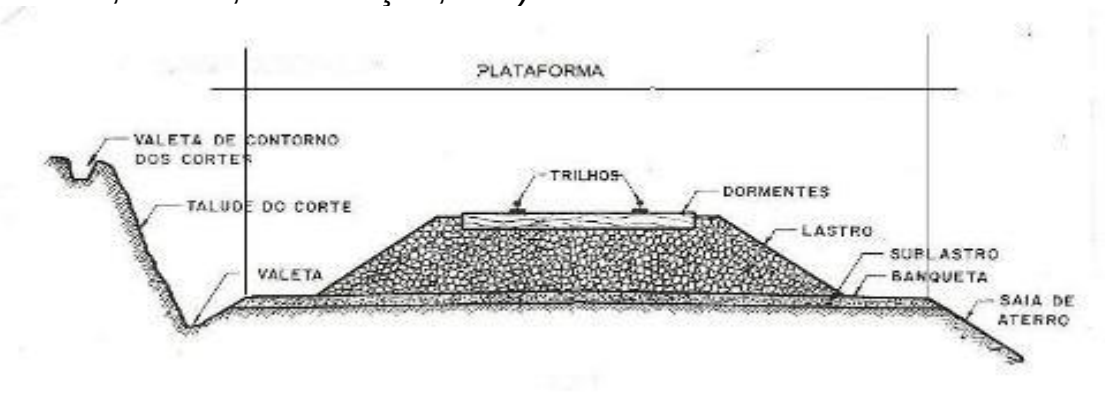

Fig. 7 – Corte esquemático da via férrea. (Adaptado de: Brina)

Basicamente, a plataforma ferroviária é constituída por solos naturais ou tratados (sub-lastro), no caso de cortes ou aterros, ou então, por estruturas especiais, no caso de obras de arte. Suas dimensões são definidas pelas Normas e em função de algumas características técnicas do projeto, a saber:

3.3.1.1. Bitolas

Denomina-se **Bitola**, à distância entre as faces internas das duas filas de trilhos, medida a 16 mm, abaixo do plano de rodagem (plano constituído pela face superior dos trilhos). Fig. 8. A palavra bitola, provavelmente, deriva do vocábulo anglo-saxão *"wittol"* que significa "medida".

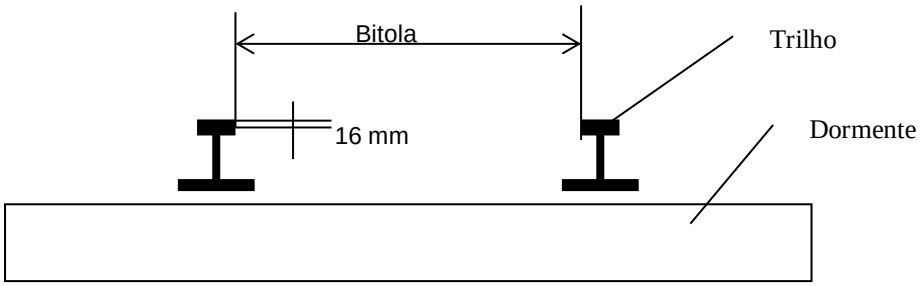

Fig 8- Representação esquemática da Bitola da Via (Adaptado de: Brina, 1983)

Stephenson foi o primeiro construtor de vias férreas que na Inglaterra, identificou a importância de padronizar-se as bitolas ferroviárias em um país e adotou o comprimento de 1,435 m (4' 8 ½ "), nas primeiras ferrovias que construiu (Stockton a Darligton e Liverpool a Manchester). Esta bitola correspondia ao comprimento dos eixos das diligências inglesas, construídas na época (1825). Outras ferrovias, construídas posteriormente, também adotaram a mesma bitola.

Em 1907, a Conferência Internacional de Berna (Suiça), consagrou essa bitola (1,435 m), como **"Bitola Internacional"**, sendo, na atualidade a mesma utilizada pela grande maioria dos países, apesar de serem empregadas, também, outras medidas como, por exemplo:

PAÍS	BITOLA
Itália	1,445 m
França	1,440 m
Espanha	1,674 m
Portugal	1,665 m
Argentina	1,676 m
Chile	1,676 m
Rússia	1,523 m

Mesmo nestes países são, também, utilizadas outras bitolas, como a bitola métrica ou estreita (1,0 m).

No Brasil, pelo Plano Nacional de Viação, a 'bitola padrão", é a de 1,60 m (bitola larga), porém a que predomina é a "bitola estreita" (1,0 m).

Existem, entretanto, outras bitolas, diferentes destas duas, sendo ainda utilizadas:

BITOLA	EXTENSÃO DE VIAS	%
1,60 m	5.746 km	19,4
1,435 m	(*) 194 km	0,6
1,0 m	23.207 km	78,2
0,762 m	(**) 13 km	0,1
MISTA	510 km	1,7
TOTAL	(***) 29.670 km	100,00

Observações:
(*) – Estrada de Ferro do Amapá S/A – EFA;
(**) _ Estrada de Ferro S. J. Del Rey a Tiradentes;
(***) – Atualizado até 2008, incluindo a FERRONORTE e o Metrô de Brasília.

3.3.1.1.1. Discussão sobre Bitolas

A bitola da via é uma característica fundamental, tanto do traçado, como da exploração econômica da ferrovia. Só um profundo estudo técnico e econômico permitirá, em cada caso específico, uma escolha conveniente.

a) Vantagens e desvantagens da Bitola Métrica

a.1) Vantagens
- curvas de menor raio;
- menor largura de plataforma, terraplenos e obras de arte;
- economia de lastro, dormentes e trilhos;
- menor resistência a tração;
- economia nas obras de arte;
- material rodante mais barato.

a.2) Desvantagens
- menor capacidade de tráfego;
- menor velocidade.

A despadronização das bitolas gera inconvenientes tais como, a necessidade de baldeação de cargas, nos entroncamentos de vias com bitolas diferentes.

Estas vantagens e desvantagens têm, entretanto, caráter relativo quanto à capacidade de tráfego. Assim, por exemplo, vemos hoje estradas de ferro de “bitola estreita” executando trabalho superior ao de muitas

ferrovias de “bitola larga”. São os casos da Estrada de Ferro Vitória a Minas S/A – EFVM e do trecho ferroviário Uvaranas – Engº Bley, no Corredor de Exportação do Paraná.

A capacidade de transporte (maiores tonelagens, por trem), mesmo na bitola larga, fica limitada pela capacidade dos vagões e principalmente, dos trilhos.

Existe uma carga máxima por roda, definida em função do seu diâmetro, a qual o trilho é capaz de suportar, para que a tensão no contato roda-trilho não ultrapasse o valor compatível com a resistência do trilho.

Atendendo a este fator e para tirar o maior proveito possível de uma bitola larga (1,60 m), por exemplo, seria necessário otimizar as dimensões dos vagões, procurando aumentar, se possível, a relação lotação/peso total.

Vejamos então, por esse aspecto, a comparação entre dois vagões para minério, de bitolas 1,60 m e 1,0 m:

- *Bitola de 1,60 m*:

LOTAÇÃO	95 t
TARA	24 t
TOTAL	119 t

Relação Lotação/Peso Total:

LOTAÇÃO/PESO TOTAL= 95 t/119 t = 0,798

- *Bitola de 1,0 m*:

LOTAÇÃO	74 t
TARA	16 t
TOTAL	90 t

Relação Lotação/Peso Total:

LOTAÇÃO/PESO TOTAL= 74 t/90 t = 0,822

Verifica-se por este confronto que paradoxalmente, há melhor “aproveitamento”, na bitola de 1,0 m.

Além disso, sabemos que o custo inicial, na implantação de uma estrada de ferro de bitola larga, é muito superior ao de uma de bitola métrica.

Assim sendo, é polêmico o assunto de “escolha de bitola”, no caso de estudos e projetos de implantação de ferrovias.

3.3.1.1.2. Limites Geométricos de Bitolas

As Normas Brasileiras admitem tolerâncias máximas e mínimas para as bitolas utilizadas no Brasil:

LIMITES DE BITOLAS		
	MÁXIMA	**MÍNIMA**
BITOLA MÉTRICA (1.000 mm)	1.020 mm	995 mm
BITOLA LARGA (1.600 mm)	1.620	1.595

3.3.1.2. Gabarito da Via Férrea

O gabarito da via férrea é um modelo geométrico que fixa as dimensões máximas com que o veículo ferroviário pode ser construído, as dimensões máximas da carga e fornece em função das bitolas adotadas, a área da seção transversal, mínima necessária, para a livre circulação na via.

O Gabarito da Via é padronizado pelos órgãos reguladores de cada país.

No Brasil, as “Normas Técnicas para Estradas de Ferro” (Publicação nº 1 do DNEF) que fazem parte do Plano Nacional de Viação, fixam as dimensões mínimas da seção transversal da via.

Os gabaritos para as diversas classificações de linha singela e dupla, bitolas de 1,60 m, 1,435 m, 1,0 m e túneis, constam dos desenhos anexos às Normas Técnicas das Estradas de Ferro Brasileiras. Assim, por exemplo, temos na Fig. 9, o gabarito para pontes em tangente, em linha singela, com bitola de 1,0 m:

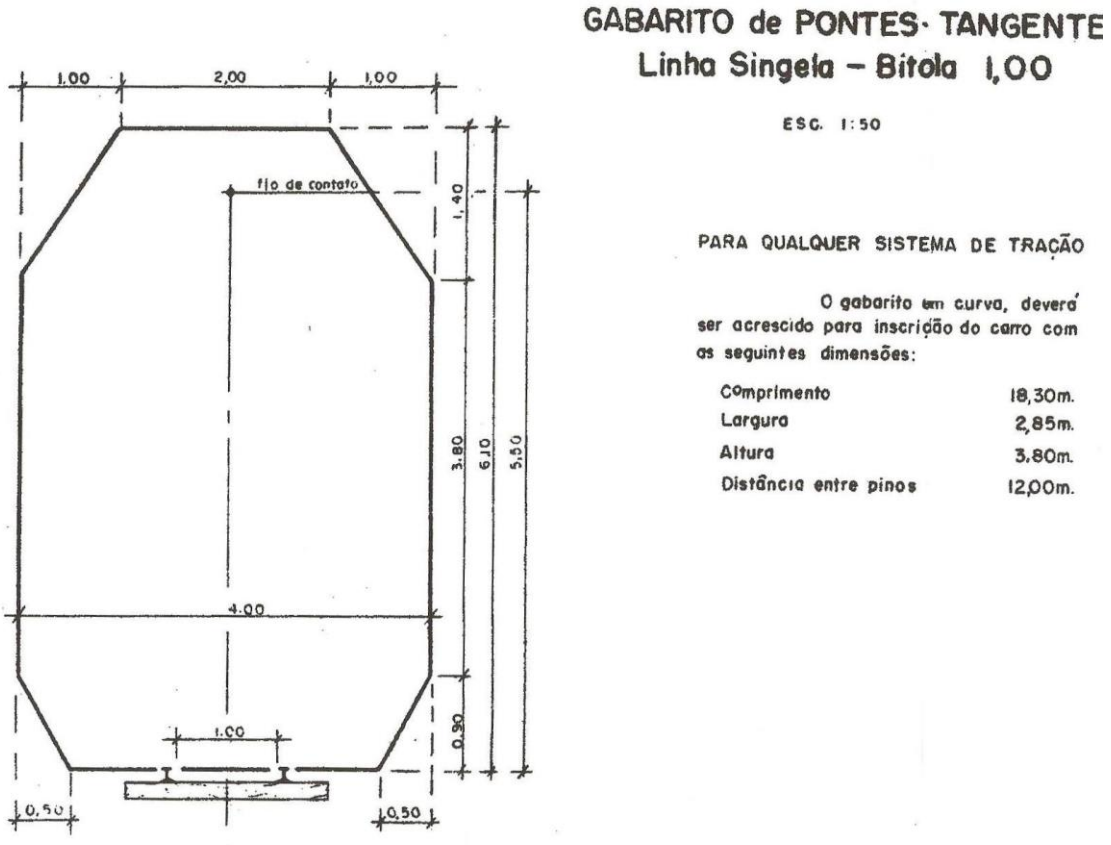

Fig. 9 – Gabarito para pontes em tangente, em linha singela – bitola 1,0 m
(Fonte: Norma Brasileira de Estradas de Ferro)

Os gabaritos serão acrescidos em altura e largura, em função das respectivas curvas, para a livre circulação dos carros de bitolas de 1,60 m, 1,435 m e 1,0 m, das dimensões indicadas nos desenhos da citada norma, nos casos mais desfavoráveis.

Os gabaritos também serão acrescidos das dimensões necessárias à instalação da superelevação máxima e da altura dos trilhos que para este objetivo, será considerada de 168 mm, para todas as bitolas.

São previstos, também, gabaritos para túneis e de obstáculos adjacentes (como coberturas e plataformas de embarque).

3.3.1.3. Características Geométricas da Plataforma

As características geométricas da plataforma ferroviária dependem então, basicamente, dos seguintes fatores:

- Bitola da via;
- Gabarito da via;
- Número de linhas;
- Altura do lastro;
- Tipo de dormente.

Estes elementos influem na determinação de sua **Largura** (L).

Outras características, tais como, inclinações de taludes laterais (corte ou aterro) e inclinação da superfície superior, também precisam ser levadas em consideração, mas dependem mais dos materiais empregados e do tipo de drenagem adotada.

Para uma linha singela, teoricamente, a plataforma teria o aspecto mostrado na figura 10, abaixo, com os valores, em geral, aceitos quando em tangente.

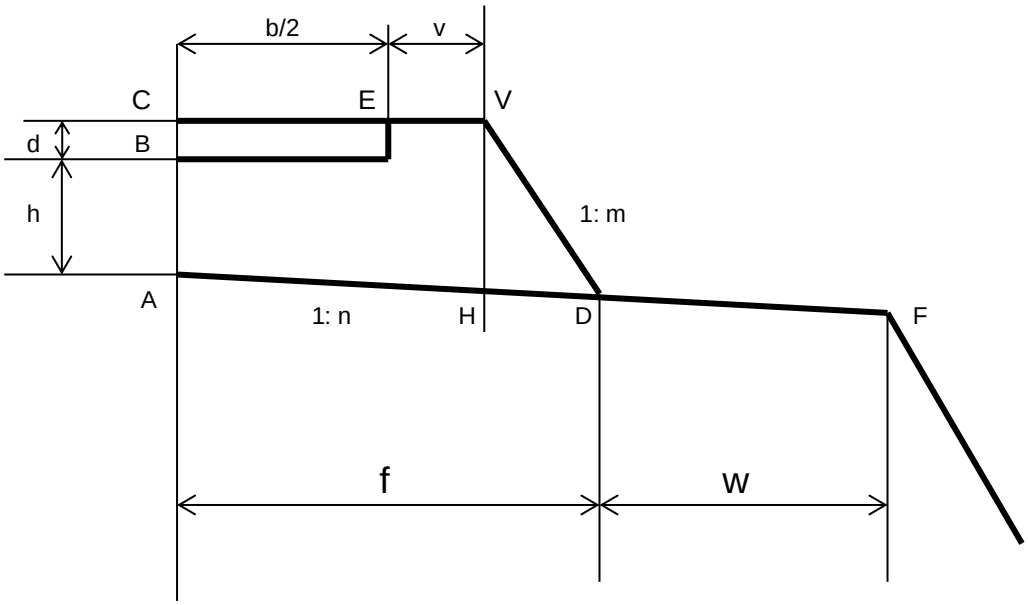

Fig. 10 – Semi-corte Ilustrativo de trecho em tangente (Adaptado de: Schechtel)

Onde:
b - comprimento do dormente
d - altura do dormente
h - espessura mínima do lastro
w - largura da banqueta

$$f = [\ m\ (h + d) + 0{,}5\ b + v\ ]\ /\ [\ 1 - (m/n)\ ]$$

$$L / 2 = f + w$$

$$L = 2\ (\ f + w\ )$$

O comprimento mínimo de “w”, segundo preconiza a AREA (American Railway Engineering Association), é de 46 cm e depende também das demais instalações necessárias à operação de ferrovia.

Em relação aos custos de construção, o ideal seria especificar-se o menor “w”, possível, mas vale lembrar a sua grande utilidade para a movimentação de pessoal e equipamentos, durante as operações de manutenção de via.

Para uma seção de linha singela, em curva com superelevação, teríamos o seguinte esquema (Fig. 11):

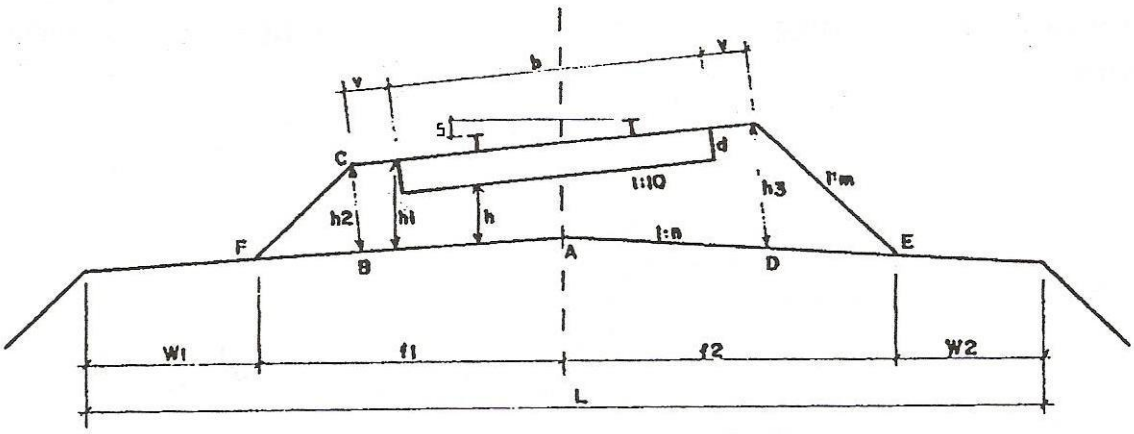

Fig. 11 – Linha singela em curva, com superelevação (Fonte: Schechtel)

Onde: 1:10 – inclinação máxima de superelevação
h - altura mínima de lastro sob o dormente
b - comprimento do dormente

3.3.1.4. Influência das Obras de Terraplenagem na Largura da Plataforma

As obras de terraplenagem necessárias para a construção da via, também devem ser levadas em consideração na determinação da largura da plataforma.

Conforme a Norma Brasileira para Estradas de Ferro, temos para linhas simples (singelas) em tangente, as seguintes medidas limite, tendo em vista a importância da via e as obras de terraplenagem:

LARGURA DE PLATAFORMA PARA LINHAS SIMPLES				
	BITOLA DE 1,60 E 1,435 (m)		BITOLA DE 1,00 (m)	
LINHA SIMPLES	ATERRO	CORTE	ATERRO	CORTE
TRONCO	6,1 – 5,8	7,2 – 6,9	4,9 – 4,6	6,0 – 5,7
SUBSIDIÁRIA	5,6 – 5,4	6,7 – 6,5	4,6 – 4,4	5,7 – 5,5

3.3.2. Via Permanente

A Via Permanente é constituída pelos seus três elementos principais:
- lastro;
- dormentes;
- trilhos.

3.3.2.1. Sub-lastro

A camada superior da Infraestrutura, chamada de **sub-lastro,** tem características especiais, levadas em consideração em sua construção devendo, por isso, ser considerada como integrante da superestrutura.

O **sub-lastro**, é o elemento da superestrutura, intimamente, ligado à infraestrutura e tem as seguintes funções:

a) Aumentar a capacidade de suporte da plataforma, permitindo elevar a taxa de trabalho no terreno, ao serem transmitidas as cargas através do lastro, reduzindo desta forma a sua superfície de apoio e sua altura, com consequente economia de material;
b) Evitar a penetração do lastro na plataforma;
c) Aumentar a resistência do leito, à erosão e à penetração da água, concorrendo pois, para uma melhor drenagem da via;
d) Permitir relativa elasticidade ao apoio do lastro, para que a Via Permanente não seja, excessivamente rígida.

Observa-se que o lastro é um material nobre, de grande consumo (cerca de 1,5 m^3/m), caro e às vezes, de difícil obtenção, justificando-se assim, a racionalização do seu uso.

A construção do sub-lastro com material mais barato e encontrável nas proximidades do local de emprego, traz grande economia à superestrutura ferroviária, além de melhorar, consideravelmente, o padrão técnico da via permanente e diminuir o seu custo de manutenção.

3.3.2.1.1. Material para o Sub-lastro

O material a ser selecionado para o sub-lastro deve obedecer, aproximadamente, às seguintes especificações:

a) IG (Índice de Grupo) – igual a 0 (zero);
b) LL (Limite de Liquidez) – máximo de 35;
c) IP (Índice de Plasticidade) – Máximo de 6;
d) Classificação pela tabela da HRB (Highway Research Board) – grupo A1;
e) Expansão – máxima 1%;
f) CBR (Índice de Suporte Califórnia) – mínimo de 30.

3.3.2.1.2. Compactação

O sub-lastro deverá ser compactado de modo a obter-se peso específico aparente, correspondente a 100% do ensaio de Proctor Normal.

3.3.2.1.3. Materiais Alternativos

No caso em que não se encontre nas proximidades da ferrovia, material que satisfaça às especificações acima, pode-se adotar a solução de misturarem-se, em usina de solos, dois solos naturais ou um solo argiloso com areia ou agregado miúdo, desde que o procedimento não aumente, demasiadamente, o custo do sub-lastro.

Outra alternativa seria adotar-se um solo melhorado com cimento utilizando-se, para tanto, as especificações pertinentes do órgão nacional rodoviário (DNER-ES-P09-71).

3.3.2.1.4. Espessura do Sub-lastro

A espessura do sub-lastro deverá ser tal que a distribuição de pressões através do mesmo, acarrete na sua base, uma taxa de trabalho compatível com a capacidade de suporte da mesma.

Geralmente, um sub-lastro com 20 cm de espessura, será suficiente para atender às citadas exigências

3.3.2.2. Lastro

O Lastro é o elemento da superestrutura, situado entre os dormentes e o sub-lastro e tem como funções especiais:

a) Distribuir, convenientemente, sobre a plataforma (sub-lastro), os esforços resultantes das cargas dos veículos, produzindo uma taxa de trabalho compatível com a capacidade de carga da mesma;
b) Formar um suporte, até certo ponto, elástico, atenuando as trepidações resultantes da passagem dos veículos;
c) Sobrepondo-se à plataforma, suprimir suas irregularidades, formando uma superfície contínua e uniforme, para os dormentes e trilhos;
d) Impedir os deslocamentos dos dormentes quer no sentido longitudinal, quer no sentido transversal;
e) Facilitar a drenagem da superestrutura.

Para bem desempenhar suas funções, o material do lastro deve ter as seguintes características:

a) Suficiente resistência aos esforços transmitidos;
b) Possuir elasticidade limitada, para abrandar os choques;
c) Ter dimensões que permitam sua interposição entre os dormentes e o sub-lastro;
d) Ser resistente aos agentes atmosféricos;
e) Ser material não absorvente, não poroso e de grãos impermeáveis;
f) Não deve produzir pó (o pó, afeta o material rodante e causa mal estar aos passageiros).

3.3.2.2.1. Materiais para o Lastro

a) Terra - É o mais barato mas, também, o de pior qualidade. É normalmente, saturável pela água, causando desnivelamento na linha (“linha laqueada”), o que é a causa mais freqüente de descarrilamentos.

b) Areia - - É drenante, pouco compressível, mas facilmente deslocada pela água. Tem o inconveniente de produzir poeira, extremamente, abrasiva que produz desgaste no material rodante e desconforto aos passageiros.

c) Cascalho - É um bom tipo de lastro que quando britado, forma arestas vivas. Pode ser utilizado na forma natural encontrada nas cascalheiras. Deve ser lavado para ser separado de terra e outras impurezas.

d) Escória - Algumas escórias de usinas siderúrgicas tem dureza e resistência compatíveis com esta aplicação. São utilizadas em linhas próximas das usinas.

e) Pedra Britada - É o melhor tipo de lastro. É resistente, inalterável pelos agentes atmosféricos e químicos. É permeável e permite um perfeito nivelamento (socaria) do lastro. É, limitadamente, elástico e não produz poeira.

3.3.2.2.2. Especificações

Ao ser definida a utilização de pedra britada, como lastro, deve-se optar pelas rochas de alta resistência (duras).

As rochas mais apropriadas para utilização em lastro ferroviário, são:
- Arenito (*);
- Calcário (*);
- Mármore (*);
- Dolomita (*);
- Granito;
- Micaxisto;
- Quartzito;
- Diorito;
- Diabásio;
- Gneiss.

Observação: (*) – estas rochas nem sempre atendem às especificações atuais, adotadas para a escolha de pedra para lastro.

No Brasil, as especificações adotadas são muito parecidas com as especificações da AREA (American Railway Engineering Association) e são as seguintes:

a) **Peso específico mínimo**: 2,7 tf/m^3 (26,5 kN/m^3);
b) **Resistência à ruptura**: 700 kgf/cm^2 (6,87 kN/cm^2 ou 70 Mpa);
c) **Solubilidade**: Insolúvel (ensaio: 7,0 dm^3 de material é triturado e lavado. Em um vaso, a amostra é agitada durante 5 minutos, a cada 12 horas, por 48 horas. Se houver descoloração, é considerada solúvel e portanto, imprópria.)
d) **Absorção**: aumento de peso $\leq$ 8 gf/dm^3 (ensaio: Uma amostra de 230 gf é mergulhada em água durante 48 horas);

e) **Substâncias nocivas**: ≤ 1%, em peso, de substâncias nocivas e torrões de argila (ensaio: NBR 7218:2010 (antigo MB 8) - ABNT);
f) **Granulometria**: ¾" < d < 2 ½ " (2,0 cm < d < 6,0 cm). (Obs.: As pedras do lastro não devem ter grandes dimensões, para não trabalharem como cunhas, diminuindo a durabilidade do nivelamento e nem pequenas dimensões, de modo a facilitarem a "colmatação" do lastro, perdendo este, sua função drenante).

No ensaio de peneiramento que deverá ser feito conforme o NBR NM 248 (antigo MB 6) - ABNT, devemos ter:

ABERTURA # (POL.)	ABERTURA # (mm)	% PASSANDO
2 ½	63,5	100
2	50,8	90 – 100
1 ½	38,0	35 – 70
1	25,4	0 – 15
¾	19,0	0 – 10
½	12,7	0 – 5

Observação: no caso de pátios e de nivelamento de aparelhos de mudança de via, são admitidos diâmetros menores.

Nos impressos de análise granulométrica, trabalha-se com as percentagens acumuladas retidas. Assim:

# (POLEGADAS)	# (mm)	% ACUM. RETIDA
2 ½	63,5	0
2	50,8	0 – 10
1 ½	38,0	30 – 65
1	25,4	85 – 100
¾	19,0	90 – 100
½	12,7	95 – 100

0s resultados dos ensaios de peneiramento, feitos em amostras obtidas segundo a as prescrições do NBR NM 248 (antigo MB 6) – ABNT, são lançados em uma "curva granulométrica" (Fig. 12), devendo ficar contidos, inteiramente, na faixa especificada:

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE PEDRA PARA LASTRO

PEDREIRA .....

DATA ..... 197 .... VIA .....

PENEIRA		MATERIAL RETIDO		% ACUMULADA
POLEG.	mm	QUANT.(kg)	PORCENTAGEM	RETIDA
2 1/2	63,5			
2	50			
1 1/2	38			
1	25			
3/4	19			
1/2	12,7			
FUNDO				
TOTAL				

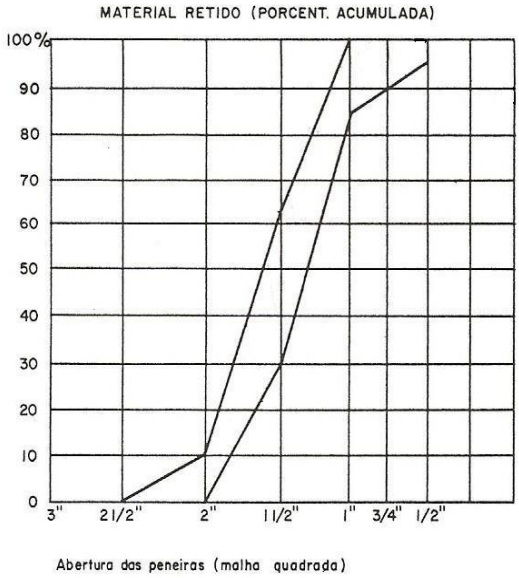

Fig. 12 – Curva granulométrica, do Ensaio de Peneiramento. Fonte: Brina (1983).

g) Resistência à abrasão: Ensaio Los Angeles

O Ensaio de Resistência à Abrasão Los Angeles, é efetuado para verificar se a brita é, suficientemente, resistente a este tipo de esforço mecânico (NBR NM 51:2001).

Ensaio Los Angeles: toma-se uma amostra representativa (obtida com o repartidor de amostras de solo ou conforme as prescrições do NBR NM 248 (antigo MB 6) – ABNT), com 5 kg e que seja limpa e seca. Coloca-se esta amostra junto com 12 bolas de aço, pesando cada uma, de 395 a 445 gf, em um tambor. A velocidade do tambor deve ser de 30 a 35 rotações por minuto (r.p.m.). São dadas 500 rotações.

Após isto, passa-se a amostra em uma peneira nº 12 (1,68 mm), pesando-se a quantidade retida. A percentagem de desgaste, em relação ao peso inicial da amostra ou Coeficiente de Abrasão Los Angeles, é dada por:

CLA = [(P – Pr)/ P] x 100, onde:

P – peso da amostra;
Pr – peso do material retido na peneira nº 12;

Observação: para a pedra de lastro: **CLA ≤ 35%**

3.3.2.2.3. Altura do Lastro Sob os Dormentes

Para o cálculo da altura do lastro sob os dormentes, devem ser resolvidos dois problemas fundamentais:

- Como se realiza a Distribuição das Pressões, transmitidas pelos dormentes, sobre o lastro?
- Qual é a Pressão Admissível ou Taxa de Trabalho, do solo (sub-lastro)?

a) Distribuição de Pressões, transmitidas pelos dormentes, sobre o Lastro

Vários estudos já foram realizados, na tentativa de aplicarem-se os conceitos clássicos da Mecânica dos Solos (Boussinesq, Steinbrenner, Newmark, etc.), adaptando-os ao caso do lastro de pedra britada. Entre estes estudos, está o trabalho de Arthur Talbot. Este trabalho, por ter aproximação suficiente para os fins práticos desejados, tem tido grande aplicação, no cálculo da altura do lastro.

Talbot desenvolveu um diagrama de distribuição de pressões no lastro, na forma de "bulbos" isobáricos. A Figura 10 apresenta o diagrama de distribuição de pressões médias sob os dormentes, em função das distâncias ao centro de suas bases, definindo as Curvas de Talbot. Assim, chamando-se de "p_o", a pressão média na face inferior dos dormentes em contato com o lastro, as curvas fornecem os valores esperados (p), nas diversas profundidades, em porcentagens de p_o:

$$\mathbf{k\% = (p / p_o) \times 100}, \text{ onde:}$$

p – pressão em um ponto qualquer, do perfil;
p_o – pressão na face inferior do dormente.

No gráfico da Fig. 13, as pressões distribuem-se, uniformemente, sendo que as pressões no centro são superiores às pressões nas extremidades dos dormentes (em duas dimensões).

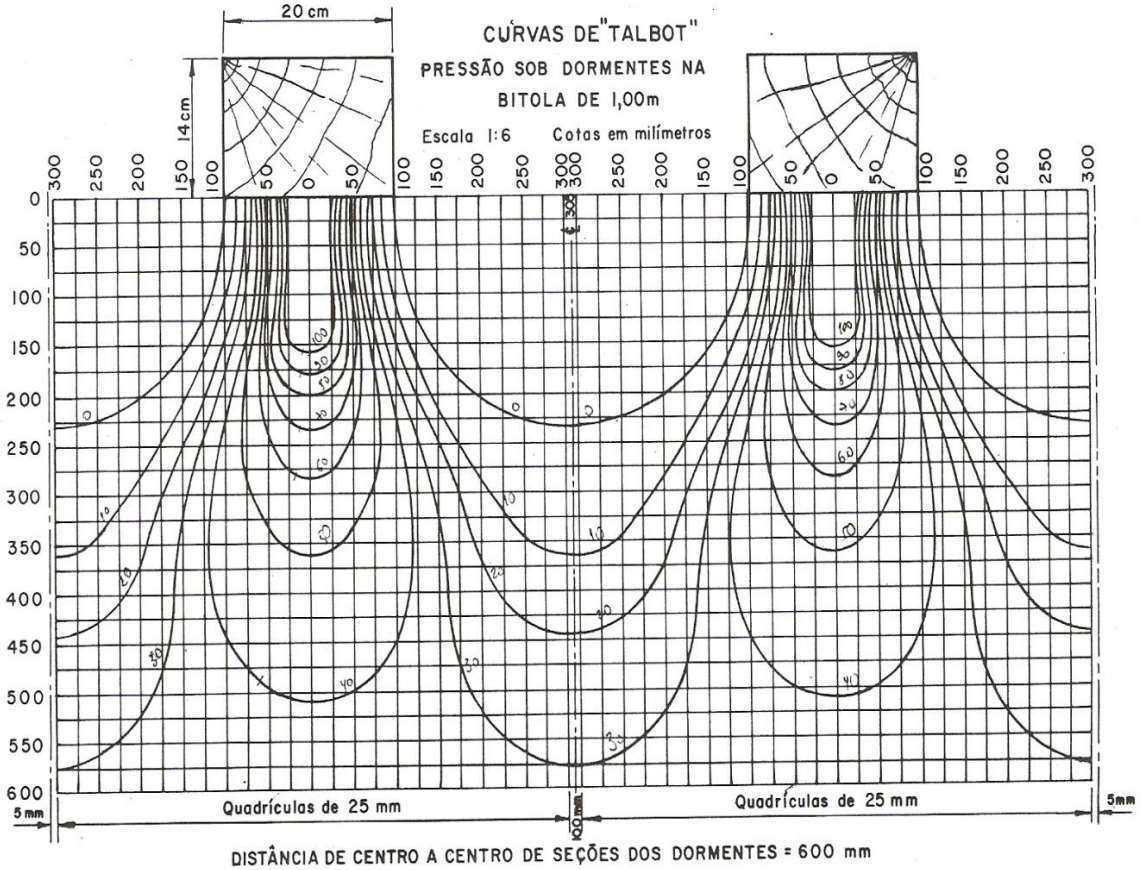

Fig13 - Diagrama de Talbot. Fonte: Brina (1983).

A curva de variação das pressões máximas no lastro (abaixo do centro dos dormentes), em função da altura do lastro, é dada por:

$$\mathbf{p_h = (16{,}8 / h^{1{,}25}) \times p_o} \quad \text{, onde:}$$

p_h – pressão na profundidade "h" (psi);
p_o – pressão na face inferior do dormente (psi);
h – altura do lastro, em polegadas.

Em unidades métricas, teríamos:

$$\mathbf{p_h = [16{,}8 / (h_{cm} / 2{,}54)^{1{,}25}] \times p_o = [(16{,}8 \times 2{,}54^{1{,}25}) / (h_{cm})^{1{,}25}] \times p_o} \therefore$$

$$\therefore \mathbf{p_h = (53{,}87 / h^{1{,}25}) \times p_o} \qquad (1), \text{ onde:}$$

h – em cm;
p_o e p_h – em kgf/cm^2.

Determinação da pressão (p_o), na base do dormente:

$\mathbf{p_o = P / (b \times c)}$, onde:

P – carga a ser considerada sobre o dormente;
b – largura do dormente;
c – distância de apoio, no sentido longitudinal do dormente.

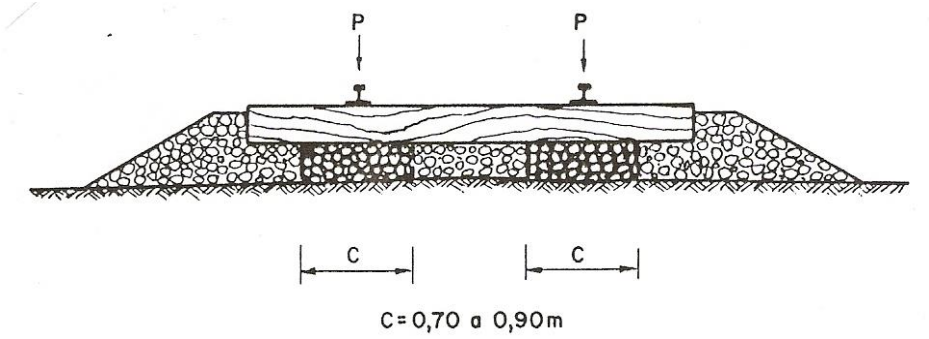

Fig. 14 – Apoio longitudinal, do dormente. Fonte: Brina (1983).

Observação: estes valores de "c" são adotados, em função do procedimento de "socaria", (compactação do lastro, sob o dormente) que é executado com maior intensidade, sob os trilhos.

Em virtude da distribuição de carga para os dormentes vizinhos, por causa da rigidez dos trilhos e da deformação elástica da linha, o peso "P", deverá ser considerado, como segue:

$$\mathbf{P = P_c = (P_r / n) \times C_d}$$, onde:

P_r – peso da roda mais pesada, (P_{eixo} / 2);
n – coeficiente adimensional. (n = d / a = distância entre eixos, do veículo / distância entre os centros, dos dormentes);
C_d – Coeficiente Dinâmico ou de Impacto (aplicado por serem, as cargas, dinâmicas). Existem diversas fórmulas deduzidas para a determinação deste coeficiente e que via de regra, fornecem valores subestimados. Sendo assim, é de praxe utilizar-se um valor que parece ser mais compatível com as aplicações práticas.

Valor recomendado: C_d = 1,4

O valor de “p_h” deve ser compatível com a capacidade de suporte da plataforma (sub-lastro):

$$\mathbf{p_h \leq \bar{p}}\text{, onde:}$$

$\bar{p}$ - pressão admissível, no sub-lastro.

Assim sendo, a altura do lastro pode ser obtida de duas formas:

a) A partir da expressão (1):

$$\mathbf{h = [(53{,}87 / p_h) \times p_o]^{(1/1{,}25)}}$$

b) Pelo Diagrama de Talbot, que fornece os valores de “h”, em função de

$$\mathbf{k\% = (p / p_o) \times 100}$$

Determinação do Valor da Pressão Admissível, na plataforma ($\bar{p}$):

O valor poderá ser obtido, por uma das seguintes maneiras:
- Provas de carga, “*in-situ*”;
- Teorias da Mecânica dos Solos;
- Procedimento prático.

Por estes métodos, obtemos um valor de “p_r“, com o qual se calcula “ $\bar{p}$ “:

$$\mathbf{\bar{p} = p_r / n}\text{, onde:}$$

p_r – pressão de ruptura do solo;
n – coeficiente de segurança, (variando entre 2 e 3).

Na falta de dados mais precisos sobre “ $\bar{p}$ “ pode ser adotado o seguinte procedimento empírico, perfeitamente satisfatório, para fins práticos:
Sendo conhecido o valor do CBR (utilizado na construção do sub-lastro):

$$\mathbf{CBR = (p / 70) \times 100}\text{, logo:}$$

$$\mathbf{p = (70 \times CBR) / 100}$$

Adota-se, então:

$$\bar{p} = p / N \text{ , onde } \quad 5 < N < 6$$

3.3.2.2.4. Exemplo de Dimensionamento

Dimensionar a altura do lastro, quando:

- peso por eixo: 20 t;
- dimensões do dormente: 2,0 x 0,20 x 0,16 (m);
- coeficiente de impacto: 1,4;
- faixa de socaria: 70 cm;
- distância entre eixos, da locomotiva: 2,2 m;
- taxa de dormentação: 1.750 pç/km;
- CBR do sub-lastro: 20%.

Solução:

a) $a = 1000 / 1750 = 0,57$ m

b) $n = d / a = 2,20 / 0,57 = 3,86$

c) $P_c = (P_r / n) \times C_d = (10.000 \text{ kg} / 3,86) \times 1,4 = 3.627$ kgf

d) $p_o = P_c / (b \times c) = 3.627 / (20 \times 70) = 2,591$ kgf/cm^2

e) $p = (CBR \times 70) / 100 = (20 \times 70) / 100 = 14$ kgf/cm^2

f) $\bar{p} = p / N = 14 / 5,5 = 2,55$ kgf/cm^2

g) $\bar{p} = (53,87 / h^{1,25}) \times p_o \therefore 2,55 = (53,87 / h^{1,25}) \times 2,591 \therefore$

$\therefore h = [(53,87 / 2,55) \times 2,591]^{(1 / 1,25)} = 24,5 \text{ cm} \cong 25 \text{ cm} \therefore$

$\therefore$ **h = 25 cm**

- Graficamente:

$k\% = (\bar{p} / p_o) \times 100 = (2,55 / 2,591) \times 100 = 98,42\%$

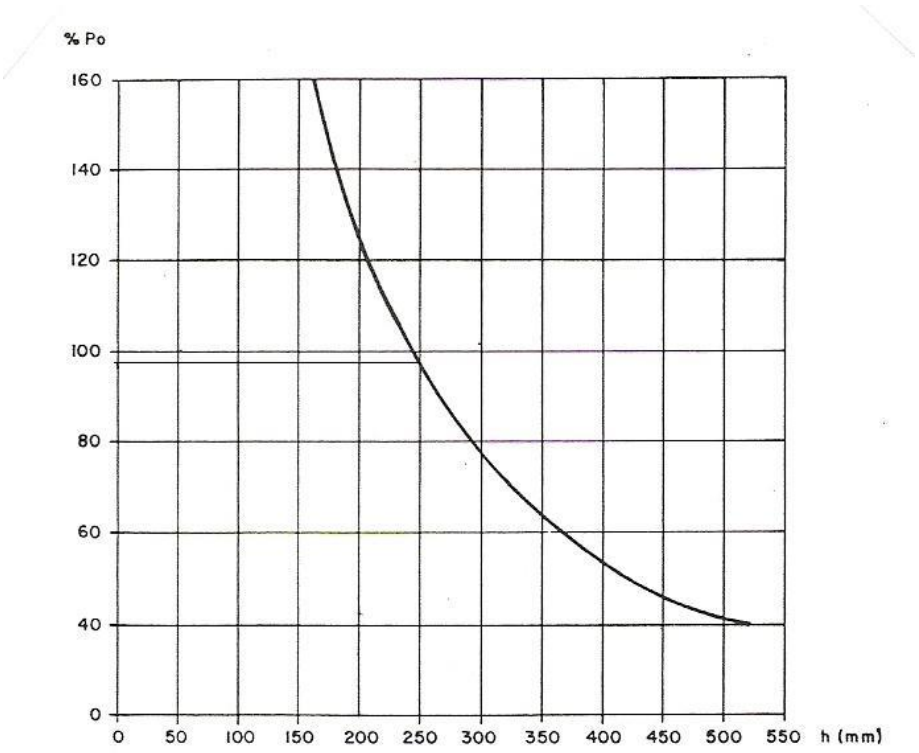

Fig. 15 – Gráfico para determinação de "h", em função de "k%". Fonte: Brina (1983).

- entrando no gráfico da Fig. 15, pela coluna da esquerda até a curva e descendo até a linha inferior, onde obtemos o valor:

h = 250 mm

- <u>Pressão na base do sub-lastro (leito):</u>

h = 25 cm + 20 cm = 45 cm, (onde: 20 cm – altura do sub-lastro)

$p_h = (53{,}87 / h^{1,25}) \times p_o = (53{,}87 / 45^{1,25}) \times 2{,}591 = 1{,}1976$ kgf/cm^2 ≈ 1,2 kgf/cm^2

Observações:

1) O valor obtido é razoável, se considerarmos que a base da plataforma é compactada a 100% PN (Proctor Normal);

2) Considerou-se a mesma lei de distribuição de cargas, também, para o subleito.

3.3.2.3. Dormentes

3.3.2.3.1. Introdução

Segundo Brina (1979), o **dormente** é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por função, receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos, servindo de suporte dos trilhos, permitindo sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (bitola).

Para cumprir essa finalidade, será necessário ao dormente que:

a) suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse os limites relativos a este material;
b) sua espessura lhe dê a necessária rigidez, permitindo entretanto alguma elasticidade;
c) tenha suficiente resistência aos esforços solicitantes;
d) tenha durabilidade;
e) permita, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro (socaria), na sua base;
f) oponha-se, eficazmente, aos deslocamentos longitudinais e transversais da via;
g) permita uma boa fixação do trilho, isto é, uma fixação firme, sem ser, excessivamente, rígida.

3.3.2.3.2. Tipos de Dormentes

Quanto ao material de que são feitos, os dormentes empregados, atualmente, são de três tipos:
- Madeira;
- Aço;
- Concreto.

3.3.2.3.2.1. Dormentes de Madeira

A madeira reúne quase todas as qualidades exigidas ao bom dormente e continua a ser, até o presente, o principal material utilizado em sua fabricação.

Na atualidade, entretanto, devido a escassez de florestas naturais e de reflorestamentos dirigidos a esta finalidade, as madeiras de boa qualidade, utilizáveis na fabricação de dormentes têm sido utilizadas para finalidades mais nobres, alcançando assim melhores preços no mercado, o que de certa forma inviabiliza, economicamente, esta aplicação ferroviária.

Assim sendo, madeiras menos nobres que podem ser obtidas a preços menores, têm sido empregadas na fabricação de dormentes, exigindo para tanto, tratamento com produtos químicos conservantes e procedimentos de manutenção mais onerosos.

Além disso, pesquisas vêm sendo feitas no sentido de obterem-se outros materiais (aço, concreto, etc.) que possam vir a substituir, economicamente, este tradicional tipo de dormente.

3.3.2.3.2.1.1. *Especificações para os dormentes de madeira*

As empresas ferroviárias estabelecem normas e especificações a serem observadas nos procedimentos de licitação para aquisição de dormentes fixando, detalhadamente, as qualidades da madeira, dimensões, tolerâncias, etc.

No Brasil, as principais Normas concernentes ao emprego de dormentes de madeira, são:
NBR 6966:1994 - Dormentes (Terminologia) – ABNT;
NBR 7511:2013 – Dormentes de Madeira – requisitos e métodos de ensaios - ABNT;
IVR-11 - Nomenclatura da Via Permanente – RFFSA (DNIT);
IVR-12 - Emprego de Dormentes Roliços - RFFSA (DNIT);
EVR-8 - Substituição de Dormentes – RFFSA (DNIT);
NV-3-250 - Especificações Técnicas para Fornecimento de Dormentes de Madeira – RFFSA (DNIT);
NBR 7190:1997- Ensaios de Resistência - ABNT.
ETM - 003 – Dormentes – DNIT.
Quanto às dimensões, por exemplo, as normas brasileiras, estabelecem, para comprimento (c), largura (b) e altura (h), respectivamente:

a) bitola de 1,60 m: 2,80 x 0,24 x 0,17 (m);
b) bitola de 1,00 m: 2,00 x 0,22 x 0,16 (m).

São permitidas as seguintes tolerâncias, no recebimento:

- Comprimento: ±5,0 cm;
- Largura: ±2,0 cm;
- Espessura: ± 1,0 cm.

Observações:

1) Podem ser especificados dormentes com dimensões especiais para emprego em Pontes e em Aparelhos de Mudança de Via (AMVs);
2) Quanto à espécie da madeira (essência), os dormentes são, ainda, classificados em classes:
   1ª Classe – aroeira; sucupira; jacarandá; amoreira; angico; ipê; pereira; bálsamo; etc.
   2ª Classe – angelim; araribá; amarelinho; braúna; carvalho do Brasil; canela-preta; guarabu; jatobá; massaranduba; peroba; pau-brasil; baru; eucalipto (citriodora, paniculata, rostrata, etc.).
   3ª e 4ª Classes – madeiras identificadas com as de 1ª e 2ª Classes, mas com defeitos toleráveis.
3) Madeiras utilizadas na Europa e no Japão (países de pequena extensão territorial e de escassas reservas florestais): carvalho (chêne); faia (hêtre); pinho europeu (pin); larico (larice, pinus larix).
4) Madeiras usadas nos Estados Unidos da América: carvalho (oak); castanheira (chestnut); pinheiro do sul (white pine); abeto (fir); bordo (hard maple); bétula (birch); cedro (cedar); freixo (ash); nogueira americana (hickory); choupo (álamo); olmo (elm); nogueira comum (walnut); pinho (aspen).
5) Além das categorias acima designadas, são também especificadas as madeiras para dormentes a serem previamente tratados com conservantes químicos.
6) O melhor dormente de madeira, no Brasil, é o de sucupira que dá ótima fixação ao trilho, possui dureza e peso específicos elevados e grande resistência ao apodrecimento, podendo durar mais de 30 anos na linha.

3.3.2.3.2.1.2. *Durabilidade dos dormentes de madeira*

Além da qualidade da madeira, outros fatores têm influência na durabilidade dos dormentes. Entre eles podemos citar:
- clima;
- drenagem da via;
- peso e velocidade dos trens;
- época do ano em que a madeira foi cortada;
- grau de secagem;

- tipo de fixação do trilho;
- tipo de lastro;
- tipo de placa de apoio do trilho, no dormente.

Quanto à durabilidade do dormente, dois fatores distintos devem ser considerados:
- resistência ao apodrecimento;
- resistência ao desgaste mecânico.

Assim: Vida Útil = f (apodrecimento, desgaste mecânico).

Com relação a estes dois fatores, o ponto mais vulnerável do dormente, é o local da fixação do trilho. Neste ponto, devido à penetração da umidade e aos esforços mecânicos, é que ocorre a deterioração mais perniciosa ao dormente.

Assim, apesar de poder ser a pregação substituída, fazendo-se outro furo ao lado do anterior, é comum, não resistir o dormente, à nova pregação e então considerado inutilizado, devendo ser, portanto, substituído quando a madeira, quase sempre, em seu conjunto, ainda está em regular estado.

Em vista disso, a escolha do dormente de madeira fica, de maneira geral, condicionada aos seguintes fatores:

a) Resistência mecânica à destruição causada pelos esforços devidos à passagem dos trens, isto é, dureza e coesão da madeira;
b) Resistência ao apodrecimento (à ação dos fungos);
c) Facilidade de obtenção (abundância, disponibilidade);
d) Viabilidade econômico-financeira.

3.3.2.3.2.1.3. *Resistência mecânica da madeira*

Para se conhecer a resistência de determinada madeira, a ser utilizada na fabricação de dormentes, deve-se submetê-la aos ensaios padronizados pela ABNT (NBR 7190:1997, antigo MB-26). Esses ensaios prestam-se à determinação das características físicas (umidade, retratibilidade e peso específico) e mecânicas (compressão perpendicular e paralela às fibras, flexão, tração, fendilhamento, dureza e cisalhamento), da madeira.

A variação da resistência da madeira está relacionada com a sua microestrutura. Os diferentes tipos de células existentes na madeira

influenciam diretamente as propriedades mecânicas do material, entretanto, a densidade é determinante para sua resistência mecânica.

Geralmente, essa densidade refere-se à madeira seca “ao ar”. A madeira, normalmente exposta ao meio ambiente, contém cerca de 10 a 15 % de umidade, a qual é conhecida como “umidade de equilíbrio”. Quando se fala em “madeira verde”, geralmente, o seu teor de umidade está acima de 35 a 40 %.

Assim, a resistência da madeira é condicionada pela substância lenhosa que a compõe e aumenta, quase sempre, exponencialmente, com sua densidade e varia inversamente com o seu teor de umidade.

No caso da utilização da madeira, para fabricação de dormentes, tem fundamental importância, as propriedades de compressão paralela e perpendicular às fibras e de dureza de topo.

Em termos de densidade, entre as madeiras nacionais, podemos relacionar a paineira, com 0,26 kgf/dm^3, entre as mais leves e a aroeira, com 1,21 kgf/dm^3, entre as mais pesadas.

Como a resistência mecânica depende da densidade da madeira, no Brasil onde ainda existe madeira de boa qualidade, disponível para utilização na fabricação de dormentes, adota-se 0,70 kgf/dm^3, como densidade mínima de aceitação. Entretanto, em outros países, em que é mais escassa a madeira, já são utilizadas madeiras de densidades muito inferiores a essa.

3.3.2.3.2.1.4. *Apodrecimento da madeira*

O apodrecimento da madeira é causado por agentes biológicos como fungos e insetos (formigas e térmitas) que se alimentam de tecido vegetal morto ou vivo.

Durante muito tempo, os fungos foram considerados como vegetais e, somente a partir de 1969 passaram a ser classificados em um reino aparte (Fungi); apresentam um conjunto de características próprias que permitem sua diferenciação das plantas: não sintetizam clorofila, não tem celulose na sua parede celular, exceto alguns fungos aquáticos e não armazenam amido como substância de reserva, são desprovidos de raízes e da capacidade de fixar o carbono do ar, o que caracteriza as plantas superiores; sendo destituídos de clorofila, são assim obrigados a

viverem, ou parasitando os seres vivos ou à custa de matéria orgânica morta.

O desenvolvimento do fungo será tanto mais vigoroso, quanto mais favoráveis, forem as condições do meio sendo suas exigências fundamentais:

a) **Material Nutritivo** – Não podendo, como as plantas superiores, retirar da atmosfera, o carbono necessário ao seu metabolismo, os fungos necessitam extrair do material que os hospeda, os elementos carbonados indispensáveis à sua sobrevivência. Na madeira, eles encontram com relativa abundância, materiais amiláceos e sacarídeos e na sua falta, os fungos segregam enzimas e fermentos que desintegram a lignina e celulose que são transformadas em produtos assimiláveis. É nessa operação de "desmontagem" que se configura o ataque do fungo à madeira.

b) **Umidade** – A umidade é um dos requisitos essenciais para a germinação dos esporos, que em condições favoráveis emitem um filamento chamado "hifa", o qual se ramifica, formando o "micélio" que constitui o corpo vegetativo do fungo. Praticamente, nenhum fungo causador de apodrecimento, pode desenvolver-se, enquanto o teor de umidade for inferior a 20%, pois abaixo desta umidade, toda a água presente é absorvida pela madeira, não restando umidade suficiente para o desenvolvimento do fungo.

c) **Temperatura** – Para a maioria dos fungos quase não há crescimento abaixo de 2 °C, sendo que a temperatura ótima, para desenvolvimento, encontra-se entre 25 e 30 °C. Nas baixas temperaturas, apesar de não haver crescimento, o fungo continua vivo, morrendo apenas quando exposto a temperaturas extremamente baixas durante períodos muito longos. Em geral, os fungos não resistem a temperaturas acima de 55 °C, com tempo de exposição prolongado.

d) **Aeração** – O fungo necessita de oxigênio, ou seja, de certa quantidade de ar atmosférico para as reações de seu metabolismo. Em geral, pode-se afirmar que se deve ter 20% do volume da madeira ocupado por ar, afim de que o fungo se desenvolva normalmente.

Observando-se a seção transversal do tronco de uma árvore (Fig. 16), nota-se uma parte central mais escura que se chama **"cerne"** e uma parte, de coloração mais clara, envolvendo o cerne que se denomina **"alburno"**.

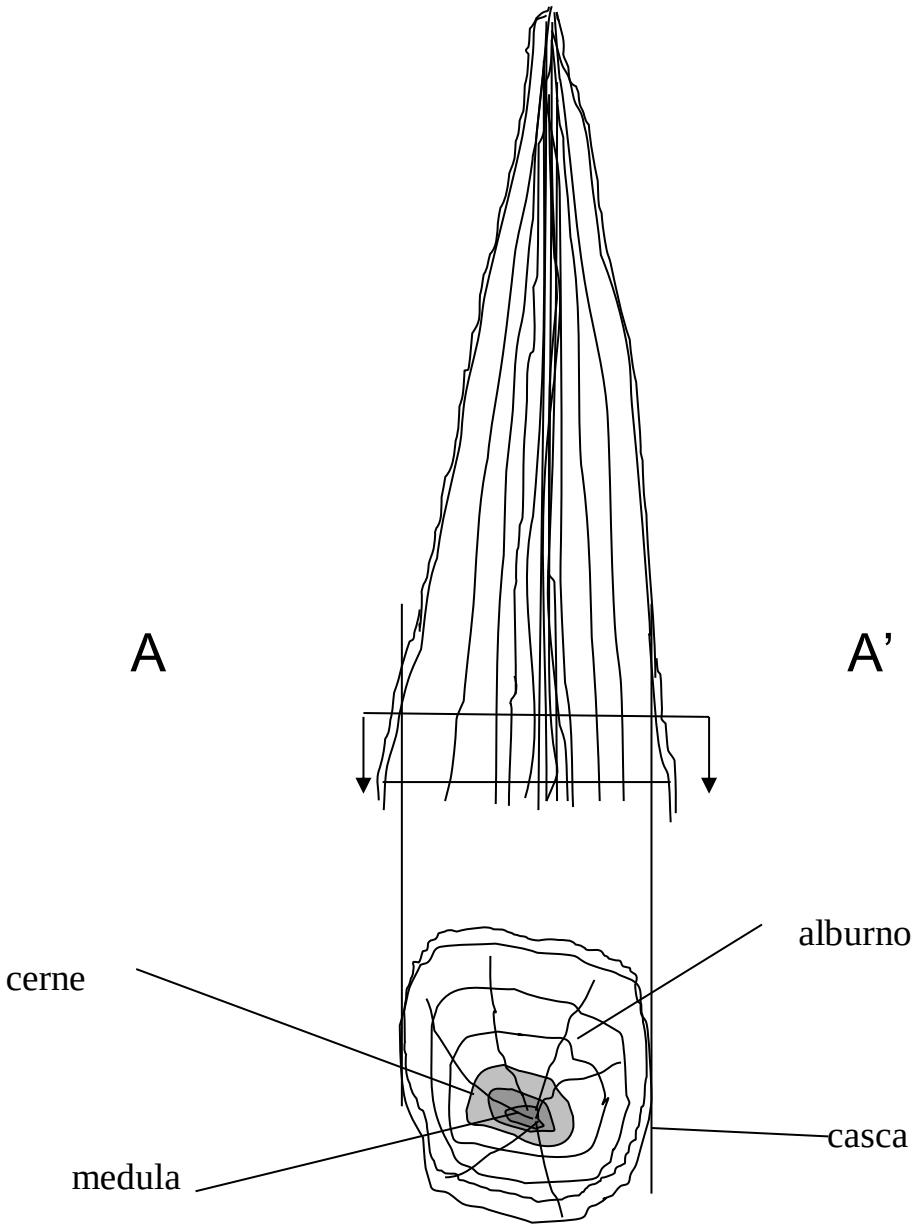

Fig. 16 – Corte Esquemático de um Tronco

O cerne é mais escuro, devido às resinas, tanino e outros materiais de tecido lenhoso. Nesta região, a célula não tem função vegetativa, mas apenas mecânica. Em geral, o cerne é pouco permeável aos agentes preservativos químicos, mas tem maior durabilidade do que o alburno que o envolve, pois, as resinas e o tanino repelem os fungos.

O alburno é mais claro e possui as células que têm a função de conduzir a seiva e armazenar as reservas nutritivas da planta sendo, portanto, propenso ao ataque de fungos e insetos.
Geralmente, denominam-se "madeiras brancas", aquelas em que predomina o alburno, apresentando lenho variável na cor, na estrutura e

nas propriedades físicas e mecânicas e com baixa resistência à deterioração, quando expostas ao tempo. Mesmo algumas “madeiras de lei”, incluem-se nesta categoria. Assim, a denominação “madeira branca” deve-se mais à sua pouca resistência ao apodrecimento do que à sua cor.

Com a progressiva escassez de madeiras com predominância de cerne, passou-se a utilizar, na fabricação de dormentes, algumas “madeiras brancas” que, entretanto, exigem um tratamento com preservativos químicos, para evitar seu rápido apodrecimento.

O tratamento químico da madeira aumenta sua resistência ao apodrecimento, mas não altera suas propriedades mecânicas.

Nenhum dormente de madeira é aplicado sem algum tipo de tratamento, entretanto, devem ser selecionadas as madeiras a serem tratadas de modo que apresentem um mínimo de resistência mecânica, para que o dormente não seja inutilizado por desgaste mecânico antes mesmo do seu apodrecimento, não sendo assim, conveniente, o tratamento químico de madeiras com peso específico menor do que 0,70 kgf/dm^3.

É recomendável, também, selecionar dormentes de madeira branca, para tratamento químico que apresentem o máximo de alburno distribuído uniformemente, em todas as faces da seção transversal (Fig. 17), pois é o alburno, mais permeável à penetração do preservativo. Dormentes de madeiras com predominância de cerne são pouco indicados para a prática da preservação química, por serem impermeáveis.

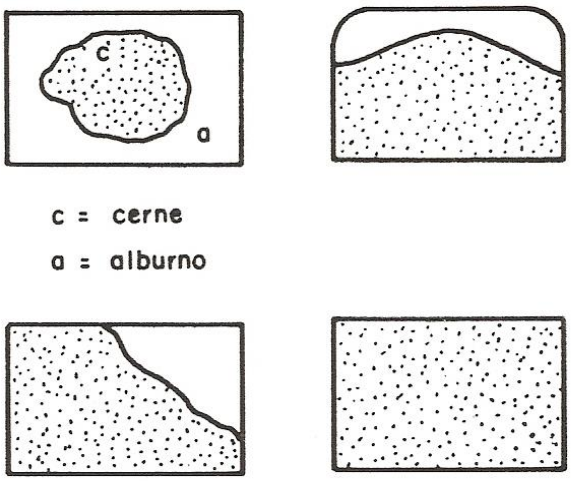

Fig. 17 – Seções típicas de dormentes em função de sua posição na tora. Fonte: Brina (1983).