

3. TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS

O setor ferroviário teve sua importância e investimentos reduzidos em função de uma política que privilegiou significativamente o setor rodoviário. As conseqüências foram o fraco desempenho do setor ferroviário, nas últimas décadas, operando uma frota sucateada em vias sem a devida manutenção.

A partir de um processo de reestruturação do setor de transportes com intuito de aumentar a participação privada na provisão de serviços, a Rede Ferroviária Federal S.A. foi incluída no Programa Nacional de Desestatização através do Decreto n.º 473/92, que propiciou o início da transferência de suas vias, oficinas, terminais, locomotivas e vagões, infra-estrutura para a iniciativa privada, durante um período de 30 anos, prorrogáveis por mais 30. O processo de concessão gerou um montante de 1,2 bilhões de dólares, conforme destacado na pesquisa (CNT, 2007b; ANTT, 2007).

Em 28/06/97, 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 Estrada de Ferro Carajás, utilizadas basicamente no transporte de minério dessa companhia.

Segundo a ANTT (2007) atualmente, o Sistema Ferroviário Brasileiro totaliza 30.374 km de extensão, distribuído pelas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, atendendo parte do Centro-Oeste e Norte do País. A malha ferroviária brasileira é composta por doze malhas concessionadas (sendo onze concedidas à iniciativa privada e uma a empresa pública), duas malhas industriais locais privadas e uma malha operada pelo estado do Amapá. As empresas concessionárias operam em todas as regiões do Brasil, sendo elas responsáveis pela manutenção e investimentos das malhas que detêm.

O repasse do controle operacional da malha ferroviária à iniciativa privada na segunda metade da década de 90 teve como uma de suas conseqüências investimentos significativos no setor de transporte ferroviário por parte das concessionárias, o que acarretou um aumento da demanda pelo transporte ferroviário. Dessa forma, o transporte de cargas por meio do modo ferroviário passou a ser uma alternativa ao modo rodoviário, sendo este fato perceptível na consolidação de importantes corredores ferroviários de transporte. Como principais resultados alcançados decorrentes do processo de desestatização, é possível citar os ganhos de desempenho operacional nas malhas concedidas, que pode ser comprovado, principalmente, devido ao aumento de produtividade do pessoal, das locomotivas e vagões, bem como na redução dos tempos de imobilização, do número de acidentes e dos custos de produção.

Foram registradas melhorias significativas e modernização do sistema, com os investimentos em novas tecnologias, aumento de parcerias com clientes e operadores logísticos, diversificação e segmentação da oferta dos serviços aos clientes, ações de responsabilidades sociais permanentes com campanhas educativas, preventivas e de conscientização de segurança. A tabela 9 apresenta alguns indicadores que fazem uma comparação entre 1997, ano no qual ocorreu boa parte das concessões, e o ano de 2005.

Tabela 9: Comparação do setor ferroviário pós-concessão

Produto	1997	2005	
Produção Ferroviária (bilhões de TKU)	137,0	221,8	+62%
Volume Transportado (bilhões de TU)	252,9	391,9	+55%
Índice de Acidentes	75,5	32,9	-56%
Investimentos das Concessionárias (R\$)	398,1	3114,3	+682%
Investimento da União (R\$ milhões)	162,0	44,0	-73%
Total de Investimentos	560,1	3157,6	+464%

Fonte: CNT - Pesquisa Ferroviária (2007)

Esses resultados refletem substancial melhoria e modernização do sistema, o que atraiu usuários e concessionárias e possibilitou substanciais investimentos em material rodante e em vias permanentes. O crescimento da produção do setor de transporte ferroviário influenciou o surgimento de muitas empresas industriais, de consultoria, de logística, dentre outras, o que praticamente havia desaparecido nos três anos anteriores à concessão. Em 1991, por exemplo, foram fabricados apenas seis vagões, contra 7.500 em 2005 (CNT, 2007b).

Apesar dos números positivos do setor, em relação ao aumento de produção, redução no número de acidentes e crescimento dos investimentos realizados, o desempenho operacional do sistema ainda tem um longo caminho para atingir níveis satisfatórios. O deslocamento das composições na ferrovia brasileira é considerado lento, parte da malha brasileira tem a velocidade máxima permitida abaixo de 50 Km/h. Além disso, a competitividade do modal, ideal para grandes distâncias, ocorre muito mais intensamente em pequenos e médios trajetos que efetivamente nos longos. As barreiras ao aumento da distância de transporte do sistema ferroviário brasileiro têm origem nas dificuldades para a circulação ferroviária nos grandes centros urbanos, nas restrições impostas pelos acordos de tráfego mútuo e direito de passagem e nas diferenças de frete ferroviário e rodoviário que não são proporcionais para as grandes viagens.

Entre os principais produtos transportados, destaque para o minério de ferro, responsável por 67% do volume total transportado pelas ferrovias. Após a desestatização, além do crescimento na movimentação dos produtos, houve uma recuperação de cargas antes transportadas por outros modais, como os grãos agrícolas; assim como ocorreu uma segmentação para cargas mais nobres, como o uso de contêiner, bem como para outros tipos de carga geral, registrando-se um aumento de 10 pontos percentuais com o uso dos recursos da intermodalidade (CNT,

2007b). Intermodalidade é segundo a conferência europeia dos ministérios de transportes “o movimento de bens em uma única unidade de carregamento, que usa sucessivos modais de transporte sem manuseio dos bens na mudança de um modal para outro”. Outros autores definem transporte intermodal como o transporte realizado por mais de um modal, caracterizando um serviço porta-a-porta com uma série de operações de transbordo realizadas de forma eficiente e com a responsabilidade de um único prestador de serviços através de documento único.

As principais concessionárias ferroviárias privadas de cargas que atuam hoje no Brasil são: Ferrovia Novoeste S/A, Ferrovia Centro-Atlântica S/A (FCA), MRS Logística S/A, Ferrovia Tereza Cristina S/A (FTC), América Latina Logística do Brasil S/A (ALL), FERROESTE, Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), Estrada de Ferro Carajás (EFC), Companhia Ferroviária do Nordeste S/A (CFN), Ferrovias Bandeirantes S/A (FERROBAN), Ferrovias Norte do Brasil (FERRONORTE) e Ferrovia Norte-Sul S/A.

Na Tabela 10, são apresentadas a extensão atual da malha ferroviária brasileira e sua respectiva bitola segundo a ANTT:

Tabela 10: Extensão da Malha Ferroviária – 2008 (Extensões em km)

Operadoras de carga e mistas.	Bitola			Total
	Larga	Métrica	Mista	
NOVOESTE – Ferrovia Novoeste S. A.		1.945		1.945
FCA – Ferrovia Centro-Atlântica S. A.		8.414	169	8.583
MRS – MRS Logística S.A.	1.632		42	1.674
FTC – Ferrovia Tereza Cristina S.A.		164		164
ALL – América Latina Logística do Brasil S.A.		7.293	11	7.304
FERROESTE		248		248
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas		905		905
EFC – Estrada de Ferro Carajás	892			892
CFN – Companhia Ferroviária do Nordeste S.A.		4.189	18	4.207
FERROBAN – Ferrovias Bandeirantes S.A.	1.463	243	283	1.989
FERRONORTE – Ferrovias Norte do Brasil	500			500
Ferrovia Norte-Sul S.A.	420			420
Subtotal	4.907	23.401	523	28.831
Operadoras Urbanas	Bitola			Total
	Larga	Métrica	Mista	
Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU	149	57		206
Cia. Est. de Eng. de Transportes e Logística - CENTRAL		75		75
Trombetas/Jari/Corcovado/Supervia/Campos do Jordão		374		374
Amapá/CBTU/CPTM/Trensurb/CENTRAL/METRO-SP RJ		888		888
Subtotal	149	1.394	-	1.543
TOTAL	5.056	24.795	523	30.374

Através da Figura 5 se pode visualizar a distribuição da malha ferroviária no território brasileiro:

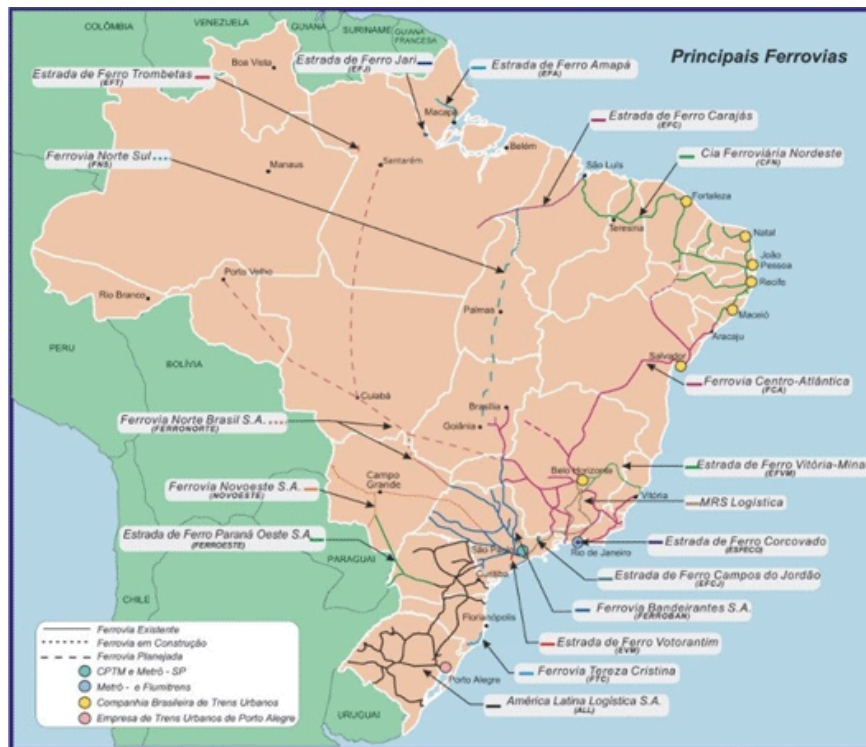


Figura 5: Distribuição das Principais Ferrovias no Brasil.

Fonte: ANTT (2008).

Caracterizado especialmente por sua capacidade de movimentar grandes volumes, com alta eficiência energética, principalmente ao longo de distâncias relativamente extensas, o sistema ferroviário de transporte de cargas apresenta uma significativa segurança, em relação ao modo rodoviário, com menores índices de acidentes e de roubos de carga. Porém, possui baixa acessibilidade quando do atendimento na origem da demanda e ainda são necessários altos investimentos na implantação e manutenção da infraestrutura. (BUSTAMANTE, 1999; ALVARENGA et NOVAES, 2000).

Segundo Alvarenga e Novaes (2000), “a eficiência do sistema ferroviário no transporte de grandes quantidades de produtos homogêneos no decorrer de longas distâncias, é explicado pelo fato dos custos fixos incorridos nos terminais (carga/descarga, triagem de vagões,

formação de trens, dentre outros) serem mais bem diluídos no custo médio global para distâncias mais longas”. Desta forma, pode-se uniformizar o material rodante (vagões) e as operações, tornando possível a utilização de trens de maior capacidade e diretos.

São cargas típicas movimentadas neste setor: produtos siderúrgicos, grãos, minério de ferro, cimento e cal, adubos e fertilizantes, derivados de petróleo, calcário, carvão mineral e clínquer, contêineres, dentre outras. A movimentação de carga no setor entre os anos de cresceu consideravelmente depois da concessão como pode ser verificado na tabela 11:

Tabela 11: Produção de transporte em bilhões de toneladas x Km úteis

CONCESSIONARIA	1992	1997	2001	2004	2006
Estrada de Ferro Carajás (EFC)	29,9	41,8	48,0	63,6	76,7
Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM)	42,7	56,6	54,4	64,8	73,4
Ferrovias Norte do Brasil – FERRONORTE	0,0	0,0	1,3	2,3	7,4
FERROESTE	0,0	0,1	0,4	0,3	1,0
Ferrovias Bandeirantes S.A. - FERROBAN	6,5	5,0	8,3	9,5	2,2
Companhia Ferroviária do Nordeste S.A.-	0,8	0,5	0,7	0,8	0,7
Ferrovia Centro-Atlântica S.A. – FCA	6,4	5,3	8,1	9,5	9,1
Ferrovia Novoeste S.A.	1,9	1,5	1,5	1,2	1,4
América Latina Logística do Brasil S.A. -	7,7	6,8	12,0	14,2	18,2
Ferrovia Tereza Cristina S.A. – FTC	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
MRS Logística S.A.	20,1	20,6	7,4	39,4	47,7
Total	116,1	138,3	142,3	205,8	238,0

Fonte: ANTT (2007) – Evolução recente do transporte ferroviário

O transporte ferroviário brasileiro vem apresentando resultados positivos depois do período de concessão, mas são necessários ainda investimentos significativos nas ferrovias e uma maior integração entre os modais para a ferrovia aumente sua participação no transporte de cargas no Brasil. Segundo a CNT (2007b) o objetivo é atingir a meta de 30% da participação do setor ferroviário na matriz de transporte de cargas do Brasil, mas para isso é preciso aumentar o produto médio tarifário e a rentabilidade do sistema para gerar fundos para sua expansão.

3.1 Estrada de Ferro Carajás (EFC)

O início da construção da Estrada de Ferro Carajás se deu no ano de 1976. Em 28 de fevereiro de 1983 é inaugurada oficialmente a estrada de ferro, pelo presidente João Figueiredo, com a operação do primeiro trem de minérios. Em 24 de março de 1985 começa a circular o trem de passageiros, que continua em operação, e que possibilita à população realizar o percurso de São Luís (MA) até Paraupabas (PA).

Os motivos que levaram à construção desta estrada de ferro estão relacionados ao crescimento da população do estado do Pará, à diversificação de sua economia através de novas culturas agrícolas comerciais, novas áreas de criação de gado e novas ocorrências minerais. Enfim, a infra-estrutura de transportes teria que se aperfeiçoar para suprir a demanda por transporte que as atividades econômicas estavam exigindo, para integrar a área não só ao mercado consumidor interno, inclusive ao mercado externo.

A Vale obtém a concessão para operar os serviços de transporte de cargas e de passageiros em 26 de junho de 1997 que eram prestados pela Estrada de Ferro Carajás. A empresa começou a operar estes serviços em 01 de julho de 1997.

A Estrada de Ferro Carajás possui 892 km de extensão. Possui pontos de interconexão com as ferrovias : Norte-Sul (em Açailândia, no Maranhão) e com a Ferrovia Transnordestina (em Itaqui, também localizado no Maranhão). Outra importante conexão, é com o terminal Ponta da Madeira (MA). Esta conexão com este porto, facilita o escoamento da produção para o exterior, ou seja facilita a exportação dos minérios e das cargas em geral transportados pela Estrada de Ferro Carajás.

Foi constatado através de estudos que a instalação da ferrovia transformou a história e a geografia das regiões sudeste do Pará e sudoeste do Maranhão. A Ferrovia fez parte do Projeto Ferro Carajás da

Vale, que consistiu em um sistema integrado mina-ferrovia-porto, voltado para a mineração e exportação de ferro da província mineral de Carajás, no sudeste paraense. Apesar de trazer divisas para os estados do Pará e do Maranhão, este projeto causou uma série de impactos ambientais, não só próximos às minas, como também ao longo de todo o Corredor da ferrovia. A forte urbanização e a drástica redução da floresta original podem se associadas aos impactos decorrentes da construção da ferrovia.

Transformou também a estrutura sócio-espacial anteriormente vigente. Um dos indícios desta transformação foi o aumento da especulação imobiliária na região. Em 1980, converteu-se no Programa Grande Carajás (extinto em 1991), como tentativa de desenvolvimento para a Amazônia Oriental.

A Vale possui um grande papel na (re)estruturação do espaço, além de também serem responsáveis por esta o Estado e os governos locais. Torna-se um dos atores sociais de grande influência na reestruturação e gestão espacial, propiciando extensas mudanças. A VALE exerce um papel destacado no atual cenário econômico mundial. As ferrovias dentro da VALE têm papel fundamental de interligação entre as minas de extrações e seu respectivo terminal portuário. A Estrada de Ferro Carajás (EFC), em específico, ocupa um papel importante para a competitividade internacional da VALE, sendo conhecida por seu traçado moderno de excelentes condições técnicas.

A seguir é apresentado o mapa de Estrada de Ferro Carajás e a ligação em Açailândia com a ferrovia Norte-Sul.



Figura 6: Mapa Ilustrativo da Estrada de Ferro Carajás e Ferrovia Norte-Sul

Com suas excelentes condições técnicas e equipada com a última geração de sistemas de controle, a EFC é uma das ferrovias com melhores índices de produtividade do mundo. A EFC foi concebida e construída para dar maior produtividade aos trens de minério, graças ao seu perfil e traçado moderno, com 73% de sua extensão em linha reta e 27% em curva, bitola larga (1,60m), raio mínimo de curva de 860m, rampa compensada máxima de 0,4% no sentido exportação, dentre outras características. (VALE, 2008)

3.2 Dinâmica Ferroviária

Entender a dinâmica ferroviária é fator relevante para a melhor compreensão das diversas variáveis que interferem no consumo relativo de óleo diesel nas ferrovias. Desta maneira, nas seções seguintes,

descrevem-se os principais componentes desta dinâmica, tais como, esforço trator, potência, forças de resistência ao movimento do trem, dentre outros.

O sistema de transporte ferroviário é composto de instalações físicas como pátios de formação de trens, terminais e estações, linhas primárias e secundárias e pontos de junção. Esse conjunto configura uma rede na qual os vagões se movem em grupos denominados lotes. Um ou mais lotes adicionados a uma locomotiva formam um trem, que transporta passageiros ou carga. (BATISTA, 2006).

De acordo com Regulamento Ferroviário (2006) um trem é um sistema constituído de veículos e cargas que se interagem e atuam sobre a via de diversas formas. Esta interação depende de vários fatores os quais incluem a distribuição dos veículos ao longo do trem, o comprimento e velocidade do trem, peso e características das locomotivas e vagões, curvatura e condições da via e ainda das condições meteorológicas. Os veículos por sua vez possuem complexos sistemas elétricos, mecânicos e pneumáticos, além da condição de manutenção destes elementos.

Entre o material móvel das estradas de ferro, destacam-se os veículos que são rebocados e os veículos que tracionam os trens. Aqueles que são tracionados dividem-se em carros, para o transporte de passageiros, e em vagões, para o transporte de cargas. Os carros e vagões são conhecidos como material rodante. Enquanto que os veículos que tracionam os trens, denominados de material de tração, são as locomotivas e os carros motores (BORBA, 2008).

A locomotiva é o veículo que fornece a energia necessária para a colocação de um comboio ou trem em movimento. Ela não tem capacidade de transporte própria, quer seja de passageiros ou de cargas.

Conforme abordado em Borba (2008), “a utilização de motor diesel em locomotivas teve início em 1925 quando foi empregado pela primeira vez numa locomotiva de manobras da Central of New Jersey Railroad”.

A aplicação do motor diesel em locomotivas necessita de um conjunto de elementos que permita a transferência da potência mecânica gerada no motor até as rodas da locomotiva. Esse conjunto é denominado de sistema de transmissão.

O sistema de transmissão deve permitir que, durante a aceleração do motor diesel, a partida se dê praticamente em ponto zero de aceleração conhecido como “vazio”, e também precisa variar a potência aplicada de acordo com o peso do trem e as condições geométricas da via. O carregamento do motor se dá através da ação de um acoplamento. Isto implica na possibilidade do motor atingir até mesmo seu conjugado máximo com velocidades decrescentes, ao invés de fazê-lo com velocidades crescentes, como é o caso de uma partida normal, sem o acoplamento.

A utilização dos acoplamentos também visa o controle de velocidade do sistema. Por outro lado, a maioria dos tipos de acoplamentos utilizados em acionamentos serve como um amortecedor aos transitórios de carga. Conforme o método de acoplamento utilizado, podemos definir três tipos de sistema de transmissão: mecânico (locomotiva diesel-mecânica), hidráulico (locomotiva diesel-hidráulica) e elétrico (locomotiva diesel-elétrica).

A forma mais comum de transmissão tem sido a diesel-elétrica que constitui um sistema de produção e geração de energia elétrica completo e isolado que tem como fonte primária de energia o motor diesel, que transmite energia a um gerador ou alternador que por sua vez transmite essa energia às rodas por meio de um motor elétrico.

Os sistemas de transmissão mecânica e hidráulica ainda são utilizados, porém são mais comuns em trens unidades, locomotivas leves e locomotivas de manobra.

Na busca contínua pelo aumento da eficiência, em conjunto com o aprimoramento das unidades de tração, foram desenvolvidos sistemas de transmissão mais sofisticados, através dos quais, itens antes pouco importantes, passaram a receber atenção cada vez maior.

Além do maior rendimento no tracionamento, alcançou-se também uma maior compacidade das unidades de tração com menores níveis de ruído e de vibrações, o que proporcionou um maior conforto, especialmente nas unidades de transporte de passageiros devido à sofisticação dos componentes de transmissão intermediários, ou seja, dos acoplamentos e engrenagens.

Em um sistema ferroviário os trens podem sofrer influência de diversas forças em sua dinâmica ao longo da linha férrea e são independentes da vontade do operador que precisa exercer controle sobre as mesmas visando uma operação segura e eficiente do trem. Tais forças se fazem presentes nas mais diversas situações exigidas pelo processo de condução dos trens. Na seqüência destacam-se alguns dos esforços atuantes na dinâmica ferroviária.

3.3 Forças que Atuam no Trem

Para que o trem se locomova, deve existir uma força. Conforme a inclinação da via a força poderá ter maior ou menor intensidade, sendo que, na descida, é necessário o uso dos freios para evitar o descontrole do trem. As forças que impulsionam o movimento do trem são: o esforço trator gerado pela locomotiva e a força de rampa, quando em declive.

Por outro lado, existem as forças que se opõem ao movimento do trem e podem ser divididas em: resistência de rampa, resistência de

curva, resistência normal, resistência de partida e resistência devido a atuação dos freios (automático, independente ou dinâmico).

3.3.1 Forças de resistência ao movimento do trem

Sob o ponto de vista mecânico, intervêm no transporte três grandezas principais:

- Carga a ser transportada;

$$\mathbf{Carga = Peso Útil + Tara} \quad \mathbf{(Eq. 01)}$$

- O caminho a ser percorrido;
- A força a ser aplicada.

Segundo Borba (2008), “no transporte ferroviário, o termo resistência ao movimento, ou resistência do trem, pode ser definido como sendo a força resultante de um conjunto de forças que está constantemente se opondo ap movimento dos veículos ferroviários.”

As resistências que se opõem ao movimento dos trens podem ser classificadas como normais e acidentais. As resistências normais são aquelas que sempre estão presentes, qualquer que seja o trecho. São as resistências decorrentes da fricção, da oposição do ar e da flexão dos trilhos. As resistências acidentais aparecem em determinadas condições de percurso e são devidas às rampas e às curvas. Considera-se também a resistência causada pela aceleração, que é motivada pela inércia da massa e decorrente da reação contrária à variação de velocidade.

É usual adotar-se como unidade da resistência ao movimento:

$$\left[\frac{Kgf}{Tf} \right]$$

Isto é, a resistência em quilograma-força por tonelada de peso do veículo.

Na partida do trem existe a resistência derivada da inércia em função do repouso e também da força imposta pelos mancais, que é muito mais alta na partida do que quando em movimento. A resistência do mancal varia de acordo com o tipo (plano ou de rolamento), com a temperatura ambiente, com o tempo em que o veículo permaneceu parado e com sua lubrificação. O mancal que oferece a menor resistência ao movimento é o de rolamento.

No trem de carga, a situação mais crítica, de máxima força oponente ao movimento, é quando os engates estão todos tracionados, sem folga, sendo necessário movimentar todos os vagões simultaneamente. Em termos práticos, para vencer a resistência da partida, considera-se no dimensionamento do trem 2,3 kg de força da locomotiva para cada tonelada de peso do trem (Borba, 2008).

As forças de resistência normais são causadas pelos seguintes fatores: atrito dos mancais, atritos no contato roda-trilho, atrito entre a roda e as sapatas, atritos das partes mecânicas, deslocamento do trem no ar, oscilações e vibrações dos veículos. Estes fatores, por sua vez, são funções das condições de conservação da linha e do material de transporte, como o peso por eixo, área frontal, temperatura ambiente, entre outras.

Na superfície de contato roda-trilho a força resistente pode variar de acordo com a qualidade da via, que na prática, pode ser considerada como uma constante. Esta resistência é devido às partes mecânicas do trem e é causada pelo movimento lateral do veículo sobre os frisos da roda e pela fricção e impacto do friso contra a lateral boleto lateral do trilho. A resistência varia com a velocidade do trem, alinhamento do trilho, qualidade de conservação da via, estado de desgaste do trilho, contorno e desgaste do aro da roda e o grau de interação da via com o truque. Além destes fatores, contribuem também o balanço dos veículos e as folgas e choques nos engates.

A resistência normal, devido à ação do ar, varia diretamente com a área da seção transversal do veículo, seu comprimento e a velocidade do vento. São diversos os coeficientes que compõem a resistência normal ao movimento de um trem e, na maioria das vezes, seus valores não podem ser calculados analiticamente.

A rampa também oferece uma resistência que é influenciada pelo efeito da gravidade sobre o trem, derivada da componente da força peso tomada paralelamente à via. Na maioria das ferrovias brasileiras este é um fator limitante do peso nos trens.

As forças resistentes às curvas provêm dos atritos resultantes do arranjo entre rodas e eixos e do paralelismo dos eixos nos truques. Estes atritos ocasionam perdas que se traduzem em uma resistência que depende principalmente do raio da curva e da bitola da via. Estas forças oponentes que derivam das curvas de uma ferrovia são determinadas tanto em função do valor do raio como do ângulo central das curvas para a corda de 20 metros.

3.3.2 Força de Tração

Esforço de tração ou esforço trator é aquele necessário para vencer as resistências ao movimento do trem. Este esforço é fornecido pelas locomotivas e/ou pela força da gravidade nas rampas. Assim sua intensidade está diretamente relacionada às características e quantidade de locomotivas em determinado trem e ao perfil da via.

As locomotivas por sua vez, dependem da corrente que circula em cada motor de tração e das características construtivas do motor. Assim, além do peso, o esforço de tração é limitado pelos motores de tração, pois existe um limite de intensidade de corrente que os motores podem suportar continuamente sem se danificarem.

A intensidade do esforço trator dependerá da especificação da locomotiva e da ação do maquinista. O esforço trator máximo em um trem

deve ser limitado por três variáveis: os engates, a relação L/V, força lateral devido as curvas (L) dividida pelo peso na roda (V), e a capacidade de resistência transversal da via.

Existem dois tipos de engates. Aqueles de menor resistência, os comuns, que suportam uma força de tração máxima de 113,5 toneladas (t), e os de alta resistência (especiais) que suportam até 180 t. (REGULAMENTO FERROVIÁRIO, 2006).

Quanto maior a relação L/V, maior é a tendência de a roda subir no boleto, o que pode acarretar o descarrilamento ou até mesmo o tombamento do trem. Quanto menor o raio da curva, ou seja, quanto mais fechada for a curva, maior é a força de tração transferida para a lateral das rodas. A força lateral deve ser no máximo 64% da força vertical.

A capacidade de resistência transversal da via é definida pela resistência conjunta da via para suportar transversalmente a componente lateral L. Esta resistência é oferecida pela fixação do trilho na placa, pelos parafusos das placas de apoio nos dormentes e pelo atrito entre os dormentes e o lastro. Dependendo das condições da via, não é necessário que a relação L/V atinja seus limites. Por valores menores de L, podem-se ter os parafusos degolados, o trilho tombado ou a curva com sua geometria modificada. Assim, a condição da via permanente impõe limites ao esforço de movimento do trem.

3.3.3 Choques

Choques de tração podem ocorrer quando um veículo recebe maior aceleração do que o de trás, no sentido do movimento, vindo a puxar este. Vários são os fatores que contribuem para a ocorrência de choques, entre eles as variações do perfil da via e da curvatura da via, mudança rápida do acelerador do trem, operações incorretas de freio automático e dinâmico, oscilação da aceleração, perda de freio dinâmico e etc.

Os choques de compressão ocorrem quando em frenagem dinâmica os engates encolhem bruscamente. Impactos severos, via de regra são provocados por brusco ajuste de folgas, devido ao rápido acúmulo de forças retardadoras. O fechamento das folgas acontece ao longo do trem e os aparelhos de choque podem, em algum ponto, atingir seu fim de curso sem conseguir dissipar todo diferencial de velocidade e de energia entre os vagões.

O valor máximo admitido para choques de tração e compressão é de 23 ton. Segundo o que consta no Regulamento Ferroviário (2006) o choque, seja ele de compressão ou tração, não se dissipa imediatamente após sua ocorrência. Testes realizados em simuladores mostram que 30% de sua intensidade é absorvido pela via permanente e isto é claro, além de causar danos à via, pode também elevar a relação L/V a valores acima dos limites podendo, juntamente com outros fatores, provocar o descarrilamento de um trem. O operador deve planejar sua condução baseando-se no conhecimento do perfil onde seu trem está circulando e todos os fatores (comprimento, peso, condição das locomotivas e vagões) de forma que os choques não ultrapassem o limite de 23 toneladas.

3.3.4 Diferencial de Velocidade

É a diferença de velocidade entre os vagões de uma mesma composição. Os engates tem uma folga de 6", com esta folga, somada a cada engate, é criada um efeito, tipo sanfonamento na composição, abrindo e fechando em função do perfil e da operação. Quanto maior a composição, mais evidente isto será. Este efeito sanfonamento provoca um diferencial de velocidade entre os vagões e conseqüentes choques. Quanto maior for o diferencial de velocidade, maior será a intensidade do impacto na composição durante a ocorrência de um choque, seja ele de tração ou de compressão.

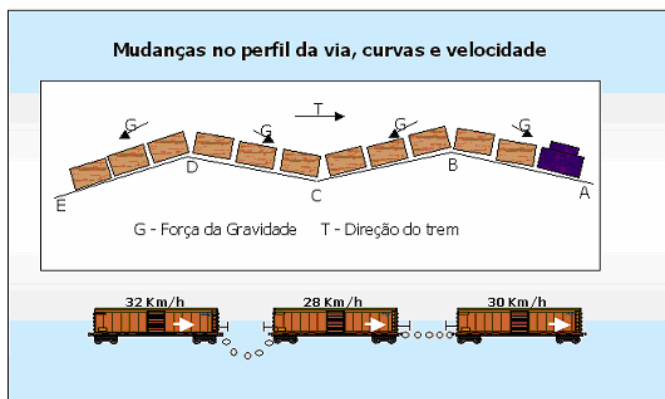


Figura 7: Diferencial de velocidade implica em folgas

Fonte: Vale (2008)

3.3.5 Potência da Locomotiva

Em uma locomotiva diesel-elétrica o motor diesel aciona o gerador e outros equipamento auxiliares. Assim a potência total fornecida pelo motor diesel é:

$$\text{Potência bruta} = \text{Potência Disponível para tração} + \text{Potência entregue aos Auxiliares} \quad (\text{Eq. 02})$$

Quando se refere a Potência da Locomotiva, considera-se apenas a potência entregue aos equipamentos auxiliares, ou seja:

$$\text{Potência da Locomotiva} = \text{Potência Disponível para tração} \quad (\text{Eq. 03})$$

A potência de uma locomotiva em um determinado instante é medida através do produto da velocidade pelo esforço trator desenvolvido pela mesma.

$$P = v.F \quad (\text{Eq. 04})$$

Se o esforço trator permanecer constante, dada uma variação positiva de velocidade, a potência tende a aumentar. Este aumento de potência mostra-se impossível devido à necessidade de equipamentos volumosos e caros que esta operação exigiria. Desta forma, quando a potência atinge seu valor máximo da capacidade do equipamento, o esforço trator deve ser reduzido para compensar o aumento da velocidade.

O peso do trem será dimensionado conforme a máxima potência disponível para sua movimentação no contato roda-trilho. Ao valor da potência no contato roda-trilho, devem ser acrescidos valores adicionais relativos às perdas de eficiência mecânica e elétrica e das cargas auxiliares, como as de iluminação, aquecimento, refrigeração, entre outras.

Percebe-se pela descrição da dinâmica ferroviária a complexidade deste sistema, e inerentes a ele os desafios relacionados ao funcionamento de uma operação segura e eficiente tendo em vista a busca constante pelo aumento de produtividade e pela redução dos custos, principalmente em um cenário globalizado e de crescimento nos programas de transporte de cargas nas ferrovias.

3.3.6 Consumo do motor diesel

Segundo Borba (2008), “o consumo de combustível de um motor diesel é determinado através de testes, onde são verificados vários fatores, entre os quais a altitude, pressão atmosférica, temperatura ambiente, quantidade de combustível que alimenta o motor, poder calorífico do óleo diesel, a carga imposta ao motor e etc.”

Segundo o mesmo autor é possível estimar o consumo de combustível por hora de trabalho de um motor diesel através da expressão:

$$\text{Consumo} = 641,19 \cdot \left(\frac{P_b}{\eta \cdot d \cdot P_c} \right) \rightarrow \left[\frac{\text{Litros}}{\text{Horas}} \right] \quad (\text{Eq. 05})$$

P_b = Potência bruta do motor (HP)

P_c = Poder calorífico do óleo diesel (kcal/litro)

d = Densidade do [óleo diesel (kg/litro)]

η = Rendimento

$$\text{Rendimento } (\eta) = \frac{\text{Energia produzida pelo motor}}{\text{Energia fornecida ao motor}} \quad (\text{Eq. 06})$$

Segundo Borba(2008), “o rendimento de um motor diesel e situa na faixa de 25 e 40%”.

Além da eficiência das partes mecânicas relacionadas ao consumo e da diminuição dos esforços resistentes outros tipos de ações são importantes para a redução do consumo de óleo como é apresentado no próximo capítulo.