



**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS**

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
ACADEMIA MRS**

**ENIO GOMES DA SILVA JUNIOR**

**UTILIZAÇÃO DE LOCOMOTIVAS COM MOTORES DE TRACÇÃO AC PARA AUXÍLIO NA  
SERRA DO MAR**

**Rio de Janeiro  
2006**

**UTILIZAÇÃO DE LOCOMOTIVAS COM MOTORES DE TRAÇÃO AC PARA  
AUXÍLIO NA SERRA DO MAR**

**Monografia apresentada no curso de Especialização em Transporte Ferroviário  
de Cargas**

**Nome do autor: ENIO GOMES DA SILVA JUNIOR**

**Orientador: Prof. José Fernandes**

## DEDICATÓRIA

Dedico esta Monografia em primeiro lugar ao Mestre da Vida, aquele cujo falar é muitíssimo suave, doce e agradável para mim, meu amado Jesus de Nazaré. Em segundo lugar à minha família. Pois eu sei em quem eu tenho credo, Ele criou o Céu, a Terra, me fez e por mim se deu, por isso no que me falou, espero. Fiel é o que prometeu.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço de todo o meu coração ao Senhor meu Deus, e ao seu Filho Jesus Cristo e às pessoas que estão lendo agora estas palavras. O motivo para fazer uma Monografia como esta é, Deus em primeiro lugar e em segundo a minha família, minha esposa Sílvia Maria Campos e meus filhos Renan, Layla, Paula e RAfael, agradeço ainda minha mãe Maria do Carmo e também todas as pessoas que direta ou indiretamente trabalharam para a realização da mesma, entre elas meu Orientador.

## RESUMO

Imagine quantas vezes uma empresa busca a melhoria de seus processos produtivos e o aumento no retorno sobre os investimentos para seus acionistas. Diante deste fato busquei na pesquisa que apresento, a resposta sobre qual dos modelos de auxílio nos trens estudados; locomotivas com tecnologia AC ou DC de motores de tração; representam uma maior economia para a empresa quando consideramos o ítem de despesa com combustíveis.

O trabalho iniciou a partir de uma alteração na formação dos trens de minério da MRS Logística S.A. , devido a um problema operacional, buscou-se na redução do peso do trem, através da redução do números de vagões por trem a solução para o problema, entretanto outros recursos foram atingidos por esta alteração, causando algumas linhas de pesquisas dentro da companhia. Além da pesquisa por mim elaborada quanto a quantidade de vagões no trem iniciei também a pesquisa relativa ao tipo de locomotiva mais adequada ao auxílio destes trens no trecho estudado.

Foi utilizado como ferramenta o Simulador de condução de trens da MRS Logística S.A., onde, em tempo real, foi conduzido cada um dos trens a ser estudados. Através da emissão de relatórios detalhados mensurando o consumo de combustível das locomotivas para cada um dos tipos de trem estudados, depois de várias horas de simulações, os dados emitidos foram analisados levando em consideração a equiparação produtiva e uma matriz de carregamento baseado em dados reais de produção do mês de Junho de 2006.

Sendo assim apresento a seguir o trabalho juntamente com a mensuração dos resultados e a economia gerada, quando da utilização do modelo operacional de formação mais indicado.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 – INTRODUÇÃO .....                                      | 7  |
| 2 - HISTÓRICO DO SETOR FERROVIÁRIO.....                   | 12 |
| 2.1 - A INVENÇÃO DA LOCOMOTIVA.....                       | 12 |
| 2.2 - A PRIMEIRA FERROVIA DO BRASIL.....                  | 13 |
| 2.3 - O SISTEMA FERROVIÁRIO NACIONAL .....                | 14 |
| 2.4 - A REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A. – RFFSA .....       | 15 |
| 2.5 - A CRIAÇÃO DA FEPASA.....                            | 16 |
| 2.6 - O PROCESSO DE DESESTATIZAÇÃO .....                  | 16 |
| 2.7 - A EMPRESA – MRS LOGÍSTICA S.A.....                  | 19 |
| 3 – A LOGÍSTICA DO TRANSPORTE DE MINÉRIO EXPORTAÇÃO ..... | 21 |
| 3.1 – NOMENCLATURA DOS TRENS .....                        | 27 |
| 3.2 – DEMANDA.....  | 27 |
| 4 – REVISÃO DE LITERATURA .....                           | 28 |
| 4.1 - TRAÇÃO EM LOCOMOTIVAS DIESEL-ELÉTRICAS .....        | 28 |
| 4.2 - TENDÊNCIAS DA TRAÇÃO ELÉTRICA .....                 | 32 |
| 5 – A METODOLOGIA UTILIZADA .....                         | 34 |
| 5.1 - SIMULADOR DE CONDUÇÃO DE TRENS .....                | 34 |
| 5.1.1 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO.....                     | 35 |
| 5.2 - EXECUÇÃO DAS SIMULAÇÕES.....                        | 36 |
| 6 - RESULTADOS OBTIDOS.....                               | 40 |
| 6.1 – QUANTIDADE DE TRENS .....                           | 41 |
| 6.2 – CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR TIPO DE TREM .....       | 42 |
| 6.3 – ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL TOTAL .....                 | 43 |
| 7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO .....              | 44 |
| 8 – BIBLIOGRAFIA .....                                    | 46 |

## 1 – INTRODUÇÃO

Com a globalização da economia uma busca constante da competitividade, redução de custo de produção e aumento da qualidade e produtividade tornou-se inevitável para as empresas, incluem-se nesta lista também as do ramo ferroviário.

O processo de redução nos custos operacionais nas ferrovias, principalmente as de grande porte, tornou-se a tônica dos últimos anos e sempre provocou acalorados debates, especialmente na área da operação ferroviária propriamente dita, ainda mais considerando que o peso específico da despesa com combustível cresce em relação aos demais recursos utilizados nas organizações em praticamente todos os segmentos da ferrovia. Equipamentos e tecnologias são constantemente ofertados ao setor, a tendência firma-se cada vez mais avançando em múltiplos setores ferroviários.

A MRS Logística efetuou uma alteração na modelagem operacional dos trens de minério, chamado tipo exportação, para composições com 132 vagões. Em determinados trechos em função das resistências ao movimento, mais propriamente dita das resistências de rampa, esta formação recebe locomotivas de auxílio para conseguir vencer as rampas. Em alguns trechos o auxílio é formado por 2 locomotivas, especificamente no trecho compreendido entre Barra do Pirai e Humberto Antunes na linha do centro, trecho com maior inclinação, este auxílio é feito por 4 locomotivas tipo GE-U23C de 2250 HP ou 3 locomotivas GM-SD40-3. Exatamente neste trecho existe a possibilidade de substituição destas locomotivas por outras duas que utilizam tecnologia AC nos motores de tração, utilizados para dar movimento as rodas. Certamente ao efetuarmos um comparativo entre os modelos apresentados, encontraremos qual dentre eles propõe ser o mais eficiente do ponto de vista do uso do combustível.

Este projeto tem como finalidade analisar o modelo operacional da formação dos trens de minério tipo exportação, que circulam na malha da MRS logística S.A. ;

concessionária da malha regional sudeste da RFFSA, que compreende os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo; comparando os impactos dos modelos que possam vir a ser adotados nos recursos utilizados no transporte de cargas, tendo como foco principal a utilização de locomotivas com tecnologia de motores de tração AC visando definir a alternativa de maior viabilidade para a organização, entendendo a alternativa mais viável como processo e também como resultado. Os modelos que serão adotados para o experimento são os seguintes:

- Trem com 132 vagões rebocados por 03 locomotivas e auxílio de 4 locomotivas tipo GE U23C;
- Trem com 132 vagões rebocados por 03 locomotivas e auxílio de 3 locomotivas tipo GM SD40-3;
- Trem com 132 vagões rebocados por 03 locomotivas e auxílio de 2 locomotivas com motores de tração AC.

Pode-se observar que qualquer decisão que envolva a seleção de um dos modelos operacionais acima descritos é de grande significância para o desempenho econômico e operacional da ferrovia. Assim é que, a correta identificação das demais variáveis que possam influenciar decisivamente no desempenho de cada alternativa, bem como a determinação do impacto relativo a elas, é fundamental para o estabelecimento de uma metodologia que suporte a tomada de decisão.

A alocação de recursos, neste caso propriamente caracterizados como o uso do combustível, deve ser suportada por ferramenta adequada de análise, em virtude da magnitude dos números envolvidos.

A proposta deste trabalho tem como base a análise em um segmento específico, o modelo operacional da formação dos trens de minério tipo exportação da MRS Logística, onde opera em seu trecho de maior complexidade do ponto de vista de esforços e uso do combustível. Como se efetuou o primeiro modelo e como se deu sua implementação, em que se fundamentou para definir a quantidade de



locomotivas em auxílio neste trecho, o total de carga a ser transportada em um trem unitário e devolver como fonte de consulta à empresa que se prepara para uma reestruturação deste processo, um documento científico estruturado em dados extraídos de pesquisas, fundamentando a análise final em informação de relatórios técnicos emitidos pelo Simulador de Condução de Trens, desenvolvido pelo IIT Research Institute; instituto de pesquisas tecnológicas do estado de Illinois, situado em Chicago, EUA e que tenha a capacidade de dar a empresa a resposta à grande pergunta:

Qual dentre os modelos operacionais estudados é o mais indicado na atualidade, do ponto de vista da eficiência do combustível?

Diferentemente do transporte rodoviário, a sistemática que envolve o transporte ferroviário define limitações do ponto de vista operacional: Topografia do terreno onde está inserida a ferrovia, com suas inclinações e raios de curva para vencer as montanhas ou contorná-las, tipo de locomotiva escolhida, se elétrica ou diesel-elétrica, tipo de carga a ser transportada, distância entre origem e destino, etc.

Baseada nestes fatores as ferrovias entram em outro momento de definição, a quantidade de vagões por trem, que é inversamente proporcional ao número de trens na malha férrea, ao número de recursos humanos necessários (Maquinista e Auxiliares de Maquinistas) e ao número de locomotivas para manter o mesmo nível de produção. Esta quantidade de vagões por trem que obviamente o tornam mais pesado, irá determinar outros fatores, como por exemplo, a demanda de produção de força necessária; demanda de aderência para vencer as resistências topográficas, inclinações e curvas, determinando o número de locomotivas e vagões por trem.

Este assunto é abordado por vários estudiosos e já foi mencionado por vários autores, como Brina (1982, vol II, p 01) :

“O Esforço trator e o transporte

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

1. A carga a ser transportada, dotada de peso  $Q$ , chamado peso útil, que deverá ser somada ao peso morto ou tara, que é o peso do recipiente (vagão) onde se coloca a carga útil;
2. O caminho a ser percorrido pela carga, representado pela estrada ou via de transporte;
3. A força a ser aplicada à carga total (peso útil mais tara) a fim de se conseguir o seu deslocamento sobre a via.”

Ainda Brina (1982, vol II, p 01) discorre sobre os princípios básicos e gerais da aplicação da força tratora, ou melhor, da tração ferroviária, para permitir o deslocamento das cargas.

Estes mesmos princípios também são tratados por Fábio Kitamura, em um apêndice de sua apostila sob o título de força de tração, explicando o seguinte:

A força de tração de um veículo ferroviário motriz é o conjugado motor na periferia das rodas que proporciona o deslocamento da locomotiva ou do carro motor, por conseguinte, a movimentação dos trens.

Um termo correlato é a força no engate, ou seja, a força de tração final do veículo, depois de deduzida a parcela de força necessária para movimentar o próprio veículo motriz. Convém lembrar que a força de tração máxima de uma locomotiva ou carro motor só é atingida no ponto em que as rodas tendem a patinar, isto é, no ponto mais alto da faixa da curva de micro-escorregamento. Uma locomotiva de grande potência pode ter um torque bastante elevado e, por conseqüência, uma grande força de tração. Mas, nem sempre é possível a utilização total da força de tração calculada, pois as rodas motrizes têm uma grande tendência a patinar por não terem suficiente aderência.

A força de tração em marcha, no caso de uma locomotiva, por exemplo, é uma função dependente de variáveis como a potência do motor diesel, a potência entregue ao gerador principal, o diâmetro das rodas, as características dos motores de tração, a rotação dos motores de tração em função da velocidade, a relação de transmissão (par pinhão/coroa), entre vários outros fatores. Uma locomotiva projetada para operar em cremalheira – sistema que opera por engrenagens - pode

converter praticamente todo o seu torque disponível em força de tração; mas uma locomotiva convencional não pode fazer o mesmo, pois sua força de tração depende principalmente da aderência disponível, que por conseguinte depende de seu peso.

O chamado peso aderente é aquele que está aplicado sobre os eixos motorizados (o emprego de eixos de apoio é hoje em dia tão raro que o peso aderente é igual ao peso total do veículo em quase totalidade dos casos).

A demanda de Força de Tração necessária a movimentação de um trem pode ser calculada a partir de seu peso e de sua resistência unitária.

Onde:

Peso do trem = Peso dos vagões (t) + Peso da locomotiva (t)

Resistência Unitária = resistência ao rolamento + resistência das rampas + resistência das curvas (kgf/t)

$F_t = \text{Peso do trem (t)} \times \text{Resistência Unitária (kgf/t)}$

Simplificando podemos dizer que não basta ir adicionando peso ao trem, devemos para isto correlacionar todas as variáveis envolvidas para a partir de então definir o nº. de locomotivas e vagões em um trem. Nunca deixando que a demanda de aderência supere a capacidade que as locomotivas ofertam. Em torno de 24% de aderência, que significa que do peso da locomotiva 24% pode ser transformado em força, em média uma locomotiva de 180 Toneladas poderia exercer 43,2 toneladas de força de tração, este valor refere-se a uma locomotiva de fabricação da General Electric, modelo GE U23-CA, modelo montado a partir de locomotivas GEU23C, quando de sua montagem em 1987, na fábrica da GE em Campinas-São Paulo.

## 2 - HISTÓRICO DO SETOR FERROVIÁRIO

### 2.1 - A INVENÇÃO DA LOCOMOTIVA

A Revolução Industrial, surgiu quando os meios de produção, até então dispersos em pequenas manufaturas, foram concentrados em grandes fábricas, como decorrência do emprego da máquina na produção de mercadorias. Numerosos inventos, surgidos no século anterior, permitiram esse surto de progresso. Entre eles, destacam-se a invenção da máquina a vapor por James Watt, aperfeiçoando a descoberta de Newcomen, em 1705.

O aumento do volume da produção de mercadorias e a necessidade de transportá-las, com rapidez, para os mercados consumidores, fizeram com que os empresários ingleses dessem apoio a George Stephenson (1781-1848), que apresentou sua primeira locomotiva em 1814. Foi o primeiro que obteve resultados concretos com a construção de locomotivas, dando início à era das ferrovias.

Stephenson, engenheiro inglês, construiu a “Locomotion”, que, em 1825, tracionou uma composição ferroviária trafegando entre Stockton e Darlington, num percurso de 15 quilômetros, a uma velocidade próxima dos 20 quilômetros horários.

No que se refere especificamente à construção de ferrovias no Brasil, o Governo Imperial consubstanciou na Lei n.º 101, de 31 de outubro de 1835, a concessão, com privilégio pelo prazo de 40 anos, às empresas que se propusessem a construir estradas de ferro, interligando o Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia. O incentivo não despertou o interesse desejado pois as perspectivas de lucro não foram consideradas suficientes para atrair investimentos.

É importante destacar que, até a chegada das ferrovias no Brasil, o transporte terrestre de mercadorias se processava no lombo dos burros em estradas carroçáveis. Naquela época, os portos fluminenses de Parati e Angra dos Reis

exportavam cerca de 100 mil sacas de café, provenientes do Vale do Paraíba. Em São Paulo, anualmente, chegavam ao porto de Santos cerca de 200 mil bestas carregadas com café e outros produtos agrícolas.

## 2.2 - A PRIMEIRA FERROVIA DO BRASIL

O grande empreendedor brasileiro, Irineu Evangelista de Souza, (1813-1889), mais tarde Barão de Mauá, recebeu em 1852, a concessão do Governo Imperial para a construção e exploração de uma linha férrea, no Rio de Janeiro, entre o Porto de Estrela, situado ao fundo da Baía da Guanabara e a localidade de Raiz da Serra, em direção à cidade de Petrópolis.

Entusiasta dos meios de transporte, especialmente das ferrovias, a ele se devem os primeiros trilhos lançados em terra brasileira e a primeira locomotiva denominada “ Baroneza”. A primeira seção, de 14,5 km e bitola de 1,68m, foi inaugurada por D. Pedro II, no dia 30 de abril de 1854. A estação de onde partiu a composição inaugural receberia mais tarde o nome de Barão de Mauá.

A Estrada de Ferro Mauá, permitiu a integração das modalidades de transporte aquaviário e ferroviário, introduzindo a primeira operação intermodal do Brasil. Nesta condição, as embarcações faziam o trajeto inicial da Praça XV indo até ao fundo da Baía de Guanabara, no Porto de Estrela, e daí, o trem se encarregava do transporte terrestre até a Raiz da Serra, próximo a Petrópolis.

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

| Ferrovia                | Data de 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 |

<sup>1</sup> Fonte: site <http://dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp> acesso em 06/09/2005 às 15:30Hs

Um dos fatos mais importantes na história do desenvolvimento da ferrovia 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) se uniram com os da E.F. D. Pedro II.

### 2.3 - O SISTEMA FERROVIÁRIO NACIONAL

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.

Destacam-se alguns fatos relevantes para o sistema ferroviário do país, ocorridos no período de 1922 a 1954, tais como:

Introdução da tração elétrica, em 1930, para substituir, em determinados trechos a tração a vapor.

Em 1939 ocorreu o início da substituição da tração a vapor pela diesel elétrica. Este processo, interrompido durante a Segunda Guerra Mundial, foi intensificado na década de 1950.

Em 1942 foi criada a Companhia Vale do Rio Doce, que absorveu a Estrada de Ferro Vitória a Minas. 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 Espírito Santo.

O Governo Vargas, no final da década de 1930, iniciou 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 da 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 Departamento Nacional de Estradas de Ferro - DNEF, sendo este último, criado pelo Decreto Lei n.º 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.

#### 2.4 - A REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A. – RFFSA

No início da década de 1950, o Governo Federal, com base em amplos estudos decidiu pela unificação administrativa das 18 estradas de ferro pertencentes à União, que totalizavam 37.000 km de linhas espalhadas pelo país.

Em 16 de março de 1957 foi criada pela Lei n.º 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 o País, servindo as regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul.

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; e
- Sistema Regional Sul, com sede em Porto Alegre.

No ano de 1976 foram 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 - A CRIAÇÃO DA FEPASA

Cabe mencionar que, em novembro de 1971, pela Lei n.º 10.410/SP, o Governo do Estado de São Paulo, decidiu unificar em uma só empresa, as cinco estradas de ferro de sua propriedade. Naquela época, pertenciam ao Estado a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, Estrada de Ferro Sorocabana, Estradas de Ferro Araraquara, Companhia Mogiana de Estrada de Ferro e Estrada de Ferro São Paulo-Minas. Assim, em decorrência dessa junção, foi criada a FEPASA – Ferrovia Paulista S.A., para gerir, aproximadamente, 5.000 km de vias férreas.

## 2.6 - O PROCESSO DE DESESTATIZAÇÃO

De 1980 a 1992, os sistemas ferroviários pertencentes à Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA e à FEPASA – Ferrovia Paulista S.A., foram afetados de forma dramática, quando os investimentos reduziram-se substancialmente, atingindo, na RFFSA em 1989, apenas 19% do valor aplicado na década de 1980. Em 1984, a RFFSA, encontrava-se impossibilitada de gerar recursos suficientes à



cobertura dos serviços da dívida contraída. A empresa suportava sério desequilíbrio técnico-operacional, decorrente da degradação da infra e da super estrutura dos seus principais segmentos de bitola métrica e da postergação da manutenção de material rodante, que ocasionaram expressiva perda de mercado para o modal rodoviário.

Na impossibilidade 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 a Lei n.º 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 n.º 473. Neste processo atuou como gestor o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES que, nos termos do Decreto n.º 1.024/94, elaborou a forma e as condições gerais para concessão das malhas da RFFSA.

Com o leilão da Malha Paulista (antiga FEPASA incorporada à RFFSA pelo Decreto n.º 2.502, em 18/02/98), concluiu-se o processo de desestatização das malhas da RFFSA.

Atualmente a RFFSA administra os ativos arrendados, o passivo remanescente e o patrimônio não arrendado, providenciando regularização da titulação de seus ativos imobiliários e vendendo ativos de modo a gerar recursos para o equacionamento da dívida passada

O Governo Federal outorgou, em 28/06/97, à Companhia Vale do Rio Doce, no processo de sua privatização, a exploração da Estrada de Ferro Vitória a Minas e Estrada de Ferro Carajás.

As atividades de transporte ferroviário de carga no Brasil podem ser divididas historicamente em três principais fases. A primeira fase foi a da instalação das primeiras ferrovias em território nacional, ocorrida em meados do século XIX. Esta fase foi caracterizada por um alto grau de investimento de empresas internacionais - com garantias de taxas atraentes de retorno por parte do governo brasileiro. Nesta mesma fase ocorreu a instalação da malha ferroviária paulista, esta financiada pelos cafeicultores deste estado.

A segunda fase histórica pode ser entendida como a fase da nacionalização gradual das ferrovias brasileiras, processo este que iniciou-se no século passado e que teve como marcos a constituição da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) pela lei no. 3.115 de 1957 e a criação da Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA) pela lei estadual no. 10.410 de 1971.

Por fim, a terceira fase é aquela em que "devolve-se", através de processo de arrendamento por 30 anos, a malha e a operação ferroviária para as mãos dos investidores privados. Esta fase teve como prenúncio a inclusão, em 1992, da RFFSA no programa nacional de desestatização e teve como marco fundamental a Lei das Concessões de 1995 (8.987/95).

Paralelamente à estrutura ferroviária privatizada, nasceu a Ferronorte, uma concessão de 90 anos outorgada em 1989 e com início de operação no ano de 1999. As estatísticas relativas ao desempenho da Ferronorte são ainda muito recentes e não serão, por causa disto, analisadas neste estudo.

Com essas informações apresentadas de forma abreviada, relataram-se os fatos mais importantes da história ferroviária brasileira, desde as primeiras iniciativas do Governo Imperial, no século XIX, até os dias atuais, ressaltando-se que se ocorreu alguma omissão deveu-se à limitação do tempo disponível para sua exposição.

## 2.7 - A EMPRESA – MRS LOGÍSTICA S.A.

MRS Logística S.A. é a concessionária que opera a chamada Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal S. A., que era composta pelas Superintendências Regionais SR3 - Juiz de Fora e SR4 - São Paulo. Foi constituída em agosto de 1996, assumindo a concessão no dia 1º de dezembro do mesmo ano, após a obtenção por cessão dos direitos adquiridos pelo Consórcio MRS Logística, através do leilão de privatização, realizado em 20/09/96, na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro, pelo valor de R\$888,9 milhões.

Os trechos que foram concedidos para a exploração do transporte ferroviário de cargas, são aqueles que pertenceram às antigas ferrovias, Estrada de Ferro Central do Brasil, nas linhas que ligam Rio de Janeiro a São Paulo e a Belo Horizonte, bem como a Ferrovia do Aço e aqueles pertencentes à Estrada de Ferro Santos-Jundiaí excluídas, em ambos os casos, as linhas metropolitanas de transporte de passageiros no Rio de Janeiro e em São Paulo.

Suas linhas abrangem a mais desenvolvida região do país interligando as cidades de Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro. Além de se constituir no sistema que une os maiores centros consumidores e produtores do país, as linhas da MRS se constituem no acesso ferroviário a importantes portos brasileiros: Rio de Janeiro, Sepetiba e Santos, além de atender ao terminal privativo de embarque de minério de ferro de propriedade da MBR, na Ilha de Guaíba na Baía de Angra dos Reis.

As perspectivas indicam que, além de uma forte tendência de crescimento do transporte de cimento, carvão, minério de ferro e produtos siderúrgicos, existe ainda um grande mercado potencial para novos fluxos de mercadorias containerizadas, grãos, fertilizantes, produtos químicos, veículos e componentes automotivos. Para atender esta demanda e ganhar a disputa que se tornará acirrada, será necessário

canalizar esforços para se alcançar qualidade dos serviços e custos compatíveis com o mercado.

### **3 – A LOGÍSTICA DO TRANSPORTE DE MINÉRIO EXPORTAÇÃO**

O crescimento das atividades da MBR e o grande volume de suas exportações - cerca de 80% da sua produção são direcionados para o mercado externo - fazem da logística um item de fundamental importância para garantir embarques rápidos e satisfação dos clientes.

O sistema de logística da MBR baseia-se em três unidades de beneficiamento - Vargem Grande, Mina do Pico e Mutuca - e em dois terminais de embarque ferroviário, o de Andaime e o de Olhos d'Água. O minério produzido na unidade de beneficiamento da Mina do Pico e na de Vargem Grande (que processa a produção das minas do Tamanduá e de Capitão do Mato) é direcionado para o Terminal Ferroviário de Andaime, de onde segue, pela Ferrovia do Aço, para o Terminal Marítimo da Ilha Guaíba. Já a produção da mina de Capão Xavier, depois de beneficiada na planta da Mutuca, é transportada para o Terminal Ferroviário de Olhos D'Água. Dali, pela Linha Centro da MRS Logística, vai também para a Ilha Guaíba.

O transporte de minério também contempla o transporte para a Ferteco, que tem seus pontos de embarque no terminal do Córrego de Feijão, região próxima a Brumadinho, terminal de Sarzedo e no terminal do Pires, às margens da BR-040, próximo a Congonhas do Campo, com cargas também as vezes provenientes de Casa de Pedra.

O trem que terá sua modelagem estudada, tem seus pontos de carregamento situados no estado de Minas Gerais, mais especificamente em 06 pontos distintos de carregamento:

- Terminal de Olhos d'água em Belo Horizonte;
- Terminal do Andaime em Itabirito;
- Terminal do Córrego do Feijão em Alberto Flores, próximo a Brumadinho;
- Terminal do Pires, próximo ao município de Congonhas;

- Terminal de Casa de Pedra.
- Terminal de Sarzedo.

Os terminais de descarga se situam no Estado do Rio de Janeiro, nos Portos de Guaíba e de Sepetiba. As distâncias médias que separam os terminais de carga e de descarga são de 550 Km a 600 Km e compreende as linhas férreas chamadas de Linha do Centro, Ferrovias do Aço e Ramal do Paraopeba.

## MINA DE ÁGUAS CLARAS

Implantada nos anos 70 em Nova Lima (MG), a Mina de Águas Claras é um marco na história da MBR: em função da qualidade da sua hematita, ela foi fundamental para o crescimento da MBR e sua consolidação como fornecedor de minérios de ferro de alta qualidade para os mercados nacional e internacional. Foi também um marco por ter em seu contexto um projeto bem mais amplo que o da abertura de uma nova mina - nele estava incluída a construção do Terminal Marítimo da Ilha Guaíba, que viabilizou as operações transoceânicas da empresa.

Hoje exaurida em suas reservas, a área da mina está sendo preparada para um futuro aproveitamento, com elevado potencial de utilização, graças ao cuidado que, desde o início, a MBR dedicou à proteção do enorme acervo ambiental da região, mediante sistemáticos controles e monitoramentos da qualidade do ar, da água e do solo, além da reabilitação, simultânea à operação, das áreas mineradas.

## TERMINAL FERROVIÁRIO DE ANDAIME

Localizado em Rio Acima, o Terminal Ferroviário de Andaime iniciou sua operação em julho de 1994, para atender à Mina do Pico. Hoje, com a planta de Vargem Grande em plena operação, recebe também o minério ali beneficiado, procedente das minas de Tamanduá e Capitão do Mato.



## TERMINAL FERROVIÁRIO DE OLHOS D'ÁGUA

O primeiro carregamento de minério no Terminal Ferroviário de Olhos d'Água, em Belo Horizonte, aconteceu em outubro de 1990. Até 2001, nele era embarcado o minério produzido e processado na mina da Mutuca. Hoje, atende exclusivamente à mina de Capão Xavier. Sua linha tem 594 quilômetros de extensão e chega até o Terminal Marítimo da Ilha Guaíba.





## TERMINAL MARÍTIMO DA ILHA GUAÍBA

O Terminal Marítimo da Ilha Guaíba (TIG), implantado na década de 1970, cumpre um papel estratégico para o sistema de logística da MBR: ele possibilitou que a empresa desse início a exportações de seus produtos. Comparado aos melhores do mundo, o TIG funciona como um imenso sistema operacional que garante à MBR rapidez e eficiência em todas as fases do processo de carregamento e transporte do minério para os mercados internacionais. Os investimentos realizados nesse processo permitiram a instalação de um segundo virador de vagões e a entrada em operação de uma terceira linha de estoque de minério. Seu píer, servido por um canal marítimo, permite a atracação de navios de até 300 mil toneladas.



## SEPETIBA

O Porto de Sepetiba está localizado na Baía de Sepetiba, em Itaguaí, a 80 km do Rio de Janeiro – um dos mais importantes centros econômicos do Brasil. A localização do Porto apresenta inúmeras vantagens, já que a Baía de Sepetiba situa-se fora das principais trajetórias de tempestades. O mar se apresenta calmo o ano todo e tem como embate natural a Restinga da Marambaia.



Dentro da Malha Sudeste, o ramal Japeri – Brisamar com 32,9 Km de extensão é de especial importância para o atendimento ao Porto de Sepetiba. A partir de Japeri a linha tronco Rio – São Paulo, interliga as regiões metropolitanas dessas cidades e atravessa todo o vale do Paraíba.

Para atender a crescente demanda de seus minérios a Ferteco Mineração S.A, atualmente Companhia Vale do Rio Doce está desenvolvendo no Porto de Sepetiba investimento de US\$120 milhões. Com isso estará capacitada a exportar, no futuro, de 15 a 20 milhões de toneladas de minério de Ferro. No futuro poderá atender a navios com até 230 mil DWT, em um pier com profundidade de 18,7m. Seus modernos equipamentos permitem o carregamento de navios a uma taxa de até 10 mil toneladas/hora. Para uma segunda fase, após dragagem adicional para 20 metros de profundidade o Terminal de Exportação de Minérios poderá carregar super graneleiros com até 230.000 DWT, atendendo assim às tendências

predominantes no comércio transoceânico de granéis. Através da Ferrovia MRS, apta a movimentar até 70 milhões de toneladas de minério por ano.

### 3.1 – NOMENCLATURA DOS TRENS

Sobre a nomenclatura dos trens, cada um dos caracteres fazem referência a um determinado detalhe de sua configuração, N significa que é um trem de minério. As outras 2 letras implicam na região de origem e de destino, respectivamente. Os algarismos indicam a seqüência, sentido de circulação e a data de sua origem. Por exemplo, NAG0118 - trem de minério que origina na região de Águas Claras e destina-se a Guaíba, sendo o primeiro trem a ser carregado neste local no dia 09 do mês corrente.

### 3.2 – DEMANDA

A MRS possui uma programação mensal e semanal de demanda, porém de acordo com a variabilidade no dia a dia, a análise é feita em D-1. O cliente decide em qual terminal quer fazer o carregamento e, na medida do possível, são feitos ajustes para atendê-lo.

## 4 – REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 - TRAÇÃO EM LOCOMOTIVAS DIESEL-ELÉTRICAS

No Brasil, a forma de tração mais comum em trens de carga é a locomotiva diesel-elétrica. Ela é uma locomotiva elétrica com todas as suas características desejáveis, porém carrega sua própria usina: Um motor diesel ligado a um gerador.

Em geral, o gerador é de CA, retificada para CC por tiristores; e os motores de tração são CC.

Então, diferentemente do que muitos leigos pensam, não há qualquer conexão mecânica direta entre o barulhento motor diesel e as rodas.

As diesel-elétricas são uma invenção americana, que acabou "pegando" no Brasil. Se isso foi bom para o Brasil, é motivo de discussão até hoje. Em geral, admite-se que nos EUA as diesel-elétricas são a solução ideal, pois o grosso da energia elétrica é gerada por termelétricas, então não faz diferença queimar o óleo numa usina ou numa locomotiva.

E a locomotiva diesel evita a instalação e manutenção das catenárias. Os EUA são um país continental, com ferrovias passando por desertos e lugares ermos. Uma locomotiva que carrega seu próprio combustível evita toda a problemática de instalar subestações e respectivo pessoal no meio do nada.

Já no Brasil, a energia hidrelétrica é mais comum, e aí as locomotivas puramente elétricas talvez fossem mais adequadas. Mas ferrovias elétricas exigem investimentos na infra-estrutura elétrica, e aqui o dinheiro sempre está curto para investimentos. Já uma diesel-elétrica é auto-suficiente, basta abastecer e rodar.

Costuma-se dizer que uma locomotiva elétrica é três vezes mais potente que uma diesel-elétrica, dado o mesmo peso. Parece ser uma desvantagem importante.

No entanto, o empuxo máximo de uma locomotiva é algo em torno de 25% do seu peso. Como a diesel-elétrica é "lastreada" pelo peso do gerador, seu esforço de tração é muito alto, particularmente em baixas velocidades. Há histórias de locomotivas diesel de 900HP puxando mais vagões que uma V8 de 3800HP, no mesmo trecho de aclive de serra.

Falando em serra, no Brasil temos esse velho problema: a Serra do Mar. Todo acesso ao litoral implica em subir ou descer a serra. Às vezes, é preciso subir e descer morros mesmo indo entre 2 cidades de litoral.

Assim, o grande problema do transporte ferroviário é vencer a serra, e nesse cenário as pesadas diesel-elétricas estão em casa.

Diante deste problema para conseguir vencer o obstáculo da serra do Mar com trens de minério compostos por 132 vagões e peso bruto acima de 16.000 toneladas seriam necessárias várias locomotivas, distribuída em locomotivas do trem e locomotivas de auxílio, sendo assim buscou-se neste estudo verificar o tipo de locomotiva que mais se aplica neste tipo de serviço.

A potência das diesel-elétricas em uso no Brasil varia de 600HP a 4400HP, e quase todas usam motores de tração CC. Lentamente as C-30 de 3000HP estão sendo importadas e aplicadas onde os raios de curva são menos críticos.

As mais novas locomotivas diesel-elétricas, geralmente fabricadas e aplicadas nos EUA, estão saindo com potências que variam de 4400Hp a 6000HP. Ao invés de motores de tração CC, usam motores de indução CA trifásicos, controlados eletronicamente.

Como podemos então observar, tração sempre foi o principal problema da tecnologia ferroviária. Ela é o maior custo operacional, seja em eletricidade ou combustível; o uso eficiente da energia é essencial para fechar as contas da ferrovia no azul.

A tração ferroviária é mais complicada que a tração rodoviária, pois a transmissão da energia mecânica deve ser adequada à estrada de ferro com rodas de aço. Ao contrário do que parece, uma locomotiva patina muito facilmente, em particular em atrace ou com trilhos molhados.

Como todo mundo sabe, a tração ferroviária começou com as locomotivas a vapor, que duraram até os anos 1970 em algumas partes do mundo.

A tração máxima de uma locomotiva estava em torno de 20% do seu peso, em trilhos secos e limpos. Assim, um excesso de força fazia as rodas patinar facilmente, o que causava uma série de problemas (pode destruir as rodas e/ou os trilhos se persistir).

A evolução do tipo de tração e de controle de patinação era o assunto em pauta naquele momento. Elevar o percentual de aderência e por conseguinte o esforço trator ainda é um desafio do setor ferroviário, para um bom entendimento da transmissão de forças à roda através dos motores de tração é necessário o conhecimento sobre os motores de tração, que é objeto de estudo nesta monografia.

O princípio de funcionamento do motor elétrico é muito simples, o que levou-o a ser inventado antes mesmo da lâmpada de Edison. Basicamente é um campo magnético fixo na carcaça - o estatura - e um campo magnético girante, o rotor. O campo do rotor é comutado de forma a sempre ser "repulsivo" em relação ao estatura. A repulsão magnética gera uma força. Como o rotor é livre para girar, a força sobre o rotor transmite uma força rotativa - o torque - ao eixo de saída.

Em motores pequenos, como os existentes em brinquedos, o campo magnético do estatura costuma ser fornecido por um ímã permanente. Nestes, a

alimentação do rotor é feita por um comutador de escovas, fonte de ruídos e manutenção.

Mas em motores de grande porte, que interessam a aplicações como locomotivas, rotor e estatura têm de gerar campos magnéticos poderosos, e assim ambos serão bobinas alimentadas com eletricidade. Existem várias formas de ligar-se essas bobinas à fonte de energia: em série, em paralelo, misto etc.

O motor mais importante para tração é o motor série, pois ele fornece potência mecânica constante em uma faixa grande de rotações, ou seja, grande torque em baixa RPM, baixo torque em alta RPM, sempre usando de forma eficiente a energia elétrica. Ele também pode ser alimentado, em tese, tanto por corrente contínua (CC) como por corrente alternada (CA).

Um grande problema do motor série é que, se ele for ligado sem carga, sua RPM aumenta muito (afinal ele é de potência constante: se a força tende a zero, a velocidade vai tender a infinito), até possivelmente chegar à destruição.

Nos trens, o motor nunca fica sem carga, exceto possivelmente quando patina, e de fato o motor pode ser danificado se patinar por muito tempo.

Assim, a patinação é evitada por treinamento do maquinista, e mais modernamente, por circuitos de detecção de patinação, algo semelhante aos freios ABS dos automóveis.

Para o mundo ferroviário, o motor série é quase perfeito por ter potência constante. O único senão é a presença da escova, que dará manutenção mais cedo ou mais tarde, principalmente pelas grandes tensões e correntes envolvidas. Um motor ferroviário típico tem 500HP, o que significa mais de 700A para uma tensão de alimentação de 500V.

Um leigo deve achar que deve haver uma complexa caixa de engrenagens

entre o motor e a roda. Na verdade, costuma haver apenas uma redução: um pinhão de, digamos, 18 dentes no eixo do motor, e uma coroa de 78 dentes no próprio eixo da roda de ferro. Nada mais simples e robusto.

O motor sustenta-se no próprio eixo, ou quando muito, no truque (o quadro que liga as rodas 3 a 3). A locomotiva fica "solta", simplesmente apoiada em cima dos truques; as únicas ligações são os cabos elétricos para os motores, e tubos de ar para os freios.

Naturalmente, um motor ferroviário terá um torque absurdamente grande, e uma RPM relativamente baixa, para que apenas uma redução seja suficiente.

Como há um motor por eixo (o que dá 4, 6 ou 8 motores por locomotiva), a unidade individual não precisa ser tão grande assim. Uma locomotiva de 3000HP terá 6 eixos, portanto 6 motores, e motores de 500HP ficam num tamanho manejável, um pouco maior que um gaiteiro.

#### 4.2 - TENDÊNCIAS DA TRAÇÃO ELÉTRICA

Como já foi dito, os motores de indução CA trifásicos possuem diversas vantagens sobre os motores série CC, como a ausência de partes sujeitas a desgaste. Porém o fato de eles rodarem apenas em velocidades predeterminadas e a exigência de três linhas de contato impediu, a princípio, sua difusão nas ferrovias.

Pode-se controlar um motor a indução controlando-se a frequência da sua alimentação. Mas, em paralelo, é necessário aplicar a voltagem correta para a frequência em uso, e ao torque pretendido. Tal controle só é possível com o uso de eletrônica, se possível com a ajuda de um computador.



O controle de motores de indução de "pequena" potência (até 10HP) existe há um bom tempo, mas a eletrônica capaz de lidar com milhares de HP surgiu apenas a partir da década de 80, e as evoluções mais recentes datam da década de 90, assim como a evolução da tecnologia atuou em todas as áreas da eletricidade e eletrônica, auxiliou na evolução dos motores, podendo assim reduzir seu tamanho e aumentar sua capacidade de torque.

A primeira grande novidade, dos anos 80, foi o tiristor GTO. Tal dispositivo permite "fabricar" uma tensão CA de qualquer voltagem e frequência, a partir de uma fonte CC, nos níveis de potência ferroviários.

A locomotiva com motores de tração a indução, e controle de velocidade por IGBT, é hoje o estado da arte da tração elétrica. Como o IGBT é alimentado por CC, tanto faz a tensão e frequência da catenária. Existem mesmo locomotivas adaptáveis a diversas tensões de entrada.



## 5 – A METODOLOGIA UTILIZADA

Para a análise comparativa foi utilizando como ferramenta capaz de gerar o resultado do consumo de combustível, o Simulador de condução de Trens da MRS Logística S.A., que mensurou o resultado do estudo em relatórios especificamente formatados, com informações monitoradas diante da operação praticada na condução virtual dos referidos trens.

### 5.1 - SIMULADOR DE CONDUÇÃO DE TRENS

O Simulador de condução de trens adquirido pela MRS Logística, foi apresentado por Alexandre Rabelo Goulart e Enio Gomes da Silva Junior, autor desta monografia, para o livro Tratado da Estradas de Ferro, volume II. A seguir reproduzo parte destas informações, contidas no capítulo 3, que fala sobre a operação ferroviária:

A utilização de ferramentas de simulação para treinamento é bastante utilizada no Brasil, principalmente no meio aeronáutico. Em se tratando de ferrovia, a MRS Logística foi a pioneira, importando, em 1998, modernos simuladores de condução de trens, fabricados, nos USA, pelo IITRI, Illinois Institute of Technology Reserch Institute. A compra destes simuladores foi marco decisivo para a implantação do projeto de qualificação e especialização na condução ferroviária, de trens cada vez maiores e mais potentes, pelos maquinistas da MRS Logística que incluiu, ainda, a construção de moderno centro de treinamento, localizado em Juiz de Fora, MG.

### 5.1.1 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Foram comprados três modelos TS (Train Simulator), de simuladores de condução de trens:

TS-0 - utilizado na análise de acidentes e estudos operacionais. É composto por uma estação VAX, da DIGITAL e assemelha-se a um PC comum. Seu sistema operacional é o VMS, da própria DIGITAL, sendo possível conduzir um trem, pela malha da MRS, através, apenas, do teclado.

TS-1 - utilizado para treinamento de maquinistas; composto por três consoles com respectivos assentos. Atualmente denominado de FLEXSIM, o sistema também é comandado por uma estação VAX completa que gerencia três cabines. Cada cabine possui um painel master AAR 105 completo, idêntico ao da locomotiva SD40-2, de 3000 HP, da frota da MRS Logística. Compõe-se, ainda, de microcomputador IBM utilizado para gerenciar os softwares DEMOMAKER©, COACH© e REAL TIME©. O sistema se completa com vídeo disk e televisão.

O COACH©, chamado, por nós, de “Lições Básicas”, mostra e orienta o maquinista para uma correta utilização das técnicas de partida, condução e parada de trens em diversos tipos de trechos com os mais variados perfis.

O DEMOMAKER© nos permite gravar uma condução de um determinado trecho e trem, isto possibilita ao instrutor mostrar ao maquinista pontos positivos e negativos para determinada operação.

Com o REAL TIME©, o maquinista é corrigido em tempo real quando infringe determinado parâmetro estabelecido pelo Instrutor, como por exemplo, mover a alavanca de aceleração demasiadamente rápido, provocando um aumento ou redução brusca da amperagem.

TS-2 - utilizado, também, para treinamento de maquinistas, é composto por console específico e foi montado dentro de uma cabine de locomotiva, em tamanho original, com o intuito de se manter o maior realismo possível. Esta sensação de

realismo se completa com a utilização de recursos audiovisuais tais como: telão, projetor e caixas acústicas. Existe, ainda, a possibilidade de análise das reações técnicas por parte dos maquinistas com relação à detecção e correção de pequenos problemas que podem, por vezes, ser inseridos no programa de treinamento, tais como: emergência indevida; falha em frenagem dinâmica; motor diesel com superaquecimento; relé-terra ; alterar potência disponível para tração e etc.

Os simuladores nos permitem conduzir de maneira bem próxima à realidade, sem os prejuízos que eventuais erros de operação possam trazer. A base da utilização dos simuladores é a criação dos cenários, que envolve a escolha do trecho de via permanente; tipo de locomotiva e vagão; modelo de relatório a ser impresso e, também, o display ( tela de ajuda ) a ser mostrado ao maquinista.

Ao término de cada condução é impresso relatório, para análise, com vários parâmetros tais como: limite de forças máximas de tração e compressão; limites de forças máximas instantâneas de tração e compressão ( comumente chamadas de choques ); análise de consumo de combustível ponto a ponto; limites de velocidade; patinação de rodas; excesso de amperagem; ciclagem de freio; regras MRS de condução a serem obedecidas e técnicas de condução desenvolvidas. Este relatório pode analisar a atitude do maquinista em intervalos, definidos pelos Instrutores, de até dois segundos.

## 5.2 - EXECUÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Para as a execução das simulações, foram criados cenários que contemplam a via de circulação do trem, o tipo de locomotiva e tipo de vagões, fazem ainda parte da criação de cenários as configurações de telas de resposta, de console de controles e tipo de relatórios previamente formatados para a mensuração dos resultados.

O trem analisado foi o chamado trem tipo da MRS logística S/A que transporta minério de ferro das minas concentradas no estado de Minas Gerais para os Portos de Guaíba e Sepetiba, ambos no estado do Rio de Janeiro.

Estes trens circulam carregados na malha MRS com três locomotivas em quase a totalidade da malha, especificamente nos trechos de maior inclinação onde a tração formada por três locomotivas é insuficiente, é adicionado acréscimo de tração – também conhecido como auxílio – que é o objeto deste estudo. Este auxílio de tração é efetuado em quatro pontos específicos:

- Trens originados no TOD, em FSO e FAF – Terminal de Olhos d'água, Sarzedo e Alberto Flores recebem o auxílio no Ramal do Paraopeba, do Km 575 próximo a Alberto Flores até o Pátio de Marinhos, próximo ao Km 553.
- Trens originados no TFA – Terminal Ferroviário do Andaime recebem o Auxílio ainda no próprio terminal e circulam com o auxílio até o pátio do P1-05, próximo ao Km 325 da Frente Norte da Ferrovia do Aço.
- Trens entre P1-07 e FOJ – Recebem o auxílio entre o Pátio do P1-07 no Km 293 até o Pátio de Bom Jardim, no Km 99 da Ferrovia do Aço.
- Estes trens são auxiliados no trecho da Linha do Centro entre os Km 108 em Barra do Pirai e Km 88 em Humberto Antunes.

Este último trecho citado é o que foi abordado nesta monografia, local onde atualmente o auxílio é executado por quatro locomotivas GE-U23C ou três GM-SD40-2, nos demais trechos mencionados acima o auxílio é executado por apenas duas locomotivas.

Buscou-se mensurar o consumo de combustível das locomotivas do trem juntamente com as locomotivas do auxílio no referido trecho.

As locomotivas utilizadas para o teste e a configuração dos auxílios foram as seguintes:

- 04 GE U23, de fabricação GE que possuem 2250 HP;
- 03 GM SD40-3, de fabricação GM que possuem 3000 Hp;
- 02 GE AC4400, de fabricação GE que possuem 4400 Hp;

Os vagões utilizados no teste são modelo GDT com peso bruto total de 120 toneladas, a via permanente utilizada é a Linha do Centro em trecho compreendido entre Barra do Piraí e Humberto Antunes.

Para a obtenção de respostas mais confiáveis, que tenham um elevado nível de aderência à realidade atual da MRS Logísticas, os trens foram conduzidos no Simulador respeitando as regras e padrões operacionais da companhia, obedecendo as velocidades permitidas em cada uma das etapas, restrições de velocidade também foram levadas em consideração.

Foram duas as premissas básicas para dar suporte a toda a análise de viabilidade técnica da utilização do referido tipo de locomotiva:

1. Em primeiro lugar as locomotivas deveriam ser capazes de executar o esforço necessário para a execução do serviço de auxílio, algumas são as maneiras de calcular estes esforços, seja através de cálculos utilizando a fórmula de DAVIS, ou através de simulações que contemplam as resistências ao movimento, rampas, curvas, rolamento e até resistências do ar.

2. Deveria ser mantida a mesma velocidade de circulação, buscando-se nesta análise a manutenção da mesma potência total da configuração atual do auxílio naquele local. Apesar das locomotivas que utilizam motores de tração do tipo AC não serem obrigadas a obedecer uma velocidade mínima de circulação, não podemos esquecer que as locomotivas que estão circulando nos trens utilizam motores de tração DC e portanto devem obedecer a uma mínima velocidade de circulação.

A partir de garantidas estas duas premissas iniciais, foram levantados os consumos específicos por tipo de trem que receberam o auxílio neste ponto da malha da MRS.

Os resultados apresentados no capítulo seguinte referem-se ao consumo de todas as locomotivas do trem envolvidas no processo.

## 6 - RESULTADOS OBTIDOS

Através do método comparativo buscou-se as diferenças e semelhanças entre os modelos operacionais pesquisados. A escolha do método comparativo se deve ao fato do mesmo permitir analisar o dado concreto, deduzindo do mesmo elementos constantes, abstratos e gerais. O mesmo é utilizado em estudos qualitativos e quantitativos, é uma verdadeira experimentação indireta.

O consumo apurado por tipo de trem é apresentado no anexo 01, que são os relatórios pré formatados pelo simulador de condução de trens da MRS.

Para apurar o resultado da pesquisa e se chegar a um valor concreto que ofereça suporte a decisão utilizamos uma matriz de produção mensal, que considera a quantidade de trens carregados em junho de 2006, que circularam no trecho entre Barra do Piraí e Humberto Antunes com a necessidade de auxílio de tração. Destes trens foi executado o comparativo de consumo contemplando a quantidade de combustível consumido por todas as locomotivas do trem.

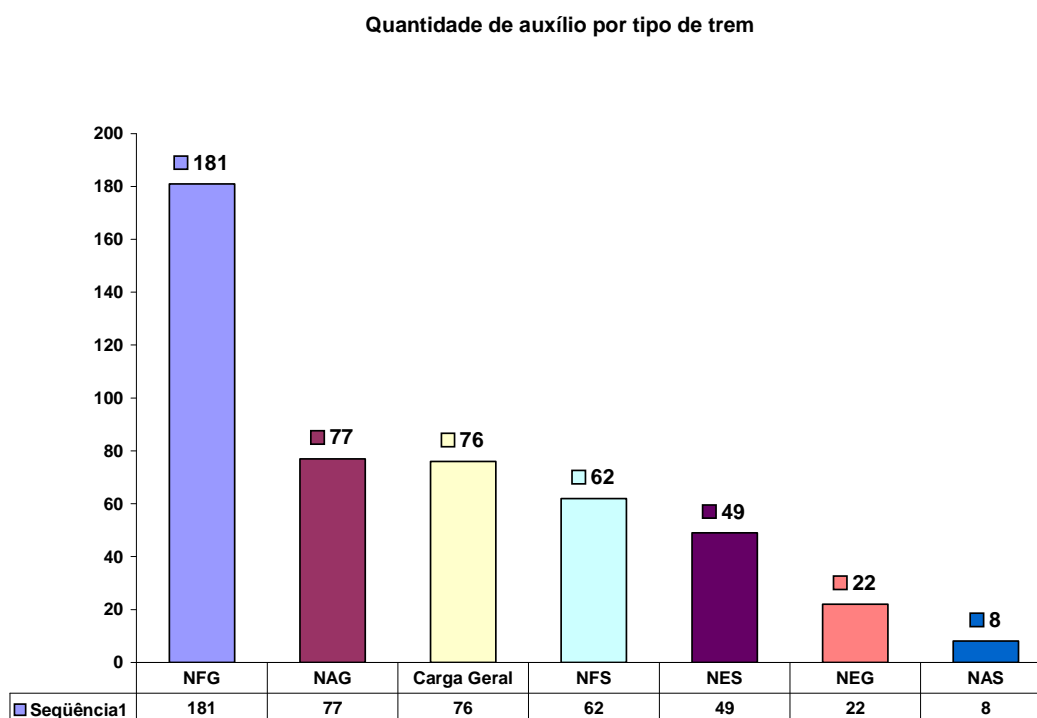
- Trem com auxílio de 4 GE U23C apresentou consumo de 1405,5 litros;
- Trem com auxílio de 3 GM SD40-2 apresentou consumo de 1352,6 litros;
- Trem com auxílio de 2 GE AC4400 apresentou consumo de 1297,3 litros.



## 6.1 – QUANTIDADE DE TRENS

Durante o mês de junho do ano de 2006, circularam no trecho em estudo com necessidade de anexação do auxílio 475 trens distribuídos por tipo de trem conforme gráfico abaixo.

Gráfico 01 - Fonte: Sislog, acessado em 17/07/2006



## 6.2 – CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR TIPO DE TREM

O consumo de combustível nos trens que receberam anexação de auxílio de tração varia em função do tipo de trem e tonelagem transportada, sendo assim para dar uma visão mais completa sobre a utilização deste combustível, que chega a aproximadamente 600.000 litros de óleo Diesel por dia, o gráfico abaixo demonstra uma visão estratificada desta utilização.

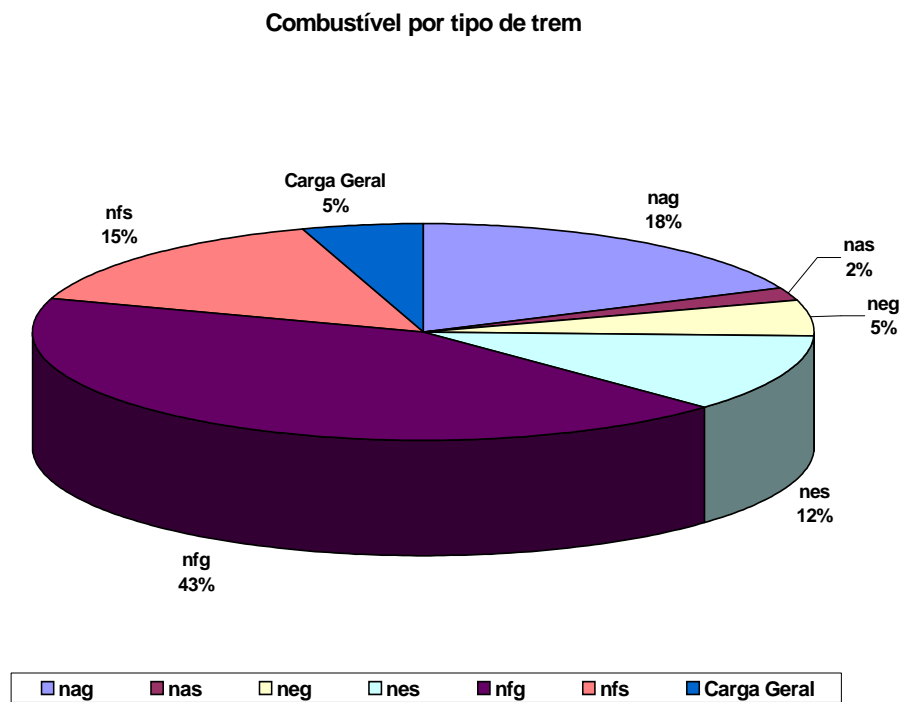


Gráfico 02 - Fonte: Simulador de condução de trens

### 6.3 – ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL TOTAL

Diante dos números apresentados nos tópicos acima, buscou-se na tabela abaixo demonstrar uma visão facilitada da economia de combustível prevista mensal e anual.

| <b>Consumo mensal de combustível por tipo de trem</b> |              |                 |                |                |
|---|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>TREM</b>   | <b>QTDE.</b> | <b>4GE U23C</b> | <b>3SD40-2</b> | <b>2AC4400</b> |
| nag   | 77           | 108.224         | 104.150        | 99.892         |
| nas   | 8            | 11.244          | 10.821         | 10.378         |
| neg   | 22           | 30.921          | 29.757         | 28.541         |
| nes   | 49           | 68.870          | 66.277         | 63.568         |
| nfg   | 181          | 254.396         | 244.821        | 234.811        |
| nfs   | 62           | 87.141          | 83.861         | 80.433         |
| <b>Carga Geral</b>                                    | <b>76</b>    | <b>30.375</b>   | <b>29.232</b>  | <b>28.036</b>  |
| <b>Consumo total</b>                                  |              | <b>591.169</b>  | <b>568.919</b> | <b>545.659</b> |

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Economia mensal prevista em litros</b> | <b>45.510</b> |
|---|---------------|

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Economia Anual prevista em litros</b> | <b>553.707</b> |
|--|----------------|

## 7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

Gratificante para quem inicia uma jornada nesta área acadêmico-profissional, é a constatação de que resultados conseguidos na pesquisa podem trazer retorno para a área pesquisada. Percebeu-se a existência de espaço para trabalhos relacionados à área ferroviária, carente de material didático e por conseguinte pesquisadores.

A análise dos resultados apresentados no capítulo 6 indicam que a modelagem operacional que utiliza trens formados com o auxílio de 4 locomotivas GE-U23C é a que gastaria mais litros de combustível para cumprir a produção do mês de Junho do ano corrente, enquanto que a formação com locomotivas AC apresentou o melhor desempenho, isto indica que o modelo operacional que utiliza locomotivas AC é mais eficiente que o modelo com locomotivas DC considerando apenas a utilização do combustível.

Diante deste resultado sugere-se à M.R.S. Logística dar seqüência neste estudo, buscando mensurar os demais ganhos que a aplicação de locomotivas com tecnologia AC poderia proporcionar, analisando custo com manutenção, vida útil de componentes, custo com a substituição de peças e componentes, custo com a estrutura destinada a este novo tipo de tecnologia.

Na aplicação desta formação estará sendo mais eficiente na economia de combustível, o que trará sem sombra de dúvida, um maior retorno sobre os investimentos de seus acionistas, considerando que a despesa com combustível representa um dos maiores orçamentos dentro da empresa.

O estudo também indica que este tipo de formação pode ser utilizada nos demais auxílios, preferencialmente naqueles que estão concentrados na Ferrovia do Aço, entre Andaime e P1-05 e entre P1-07 a Bom Jardim. Podemos considerar nestes eventos também uma configuração mais agressiva do ponto de vista de

potência das locomotivas, uma vez que não teríamos nestes trechos restrições ao gabarito de locomotivas de maior potência. Neste caso, propriamente dito podemos tornar nossos trens mais eficientes do ponto de vista da velocidade sem aumentar risco operacional uma vez que não estaríamos atuando acima do limite de velocidade máxima estabelecida para o trecho, estaríamos aumentando a menor velocidade do trem que além de melhorar a eficiência, aumentando a velocidade e reduzindo a corrente nos motores de tração nas locomotivas do comando, ainda traria como benefício uma maior vida útil aos componentes das locomotivas que utilizam motores de tração DC por operar em menores correntes e em situações menos críticas.

Na finalização desse trabalho de pesquisa, que embasou o presente relatório, foi possível afirmar que a os trens de menor peso, realmente, sofrem uma perda de dinamismo de foco econômico, conforme mostra a diferença entre o consumo dos trens de minério e os trens de carga geral.

No intuito de comprovar essa assertiva foi possível, também, traçar um painel das potencialidades que se mostram no transporte ferroviário, no que tange a diversificação de número de vagões, o aproveitamento da malha ferroviária, a adoção de atividades complementares, as alternativas para cada tipo de produto a ser transportado por ferrovia.

Aliado a isso, procuramos enriquecer toda análise elucidando pontos sobre a lógica do processo histórico, possibilitando compreender: a dinâmica histórica da ferrovia, o chamado eixo de desenvolvimento; a estrutura produtiva e as características da formação dos trens, ou seja, todo arcabouço necessário para dar sustentabilidade econômica a qualquer atividade que se propõem destinar a forma de circulação dos trens na MRS logística S/A.

## 8 – BIBLIOGRAFIA

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro. vol. II. Material rodante, tração e dinâmica dos trens.** Livros Técnicos e Científicos Ed.. Rio de Janeiro. 1982..

FERREIRA, Ronaldo, CASTELO BRANCO, J.E.S., **Tratado das Estradas de Ferro. Vol. II. Prevenção e Investigação de Descarrilamentos.** Rio de Janeiro. 2002.

### SITES:

<http://www.dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp> acesso em 06/01/2006 as 15:30Hs

<http://www.efbrasil.eng.br/electrobras.html> acesso em 06/01/2006 as 15:30Hs

<http://www.railway-technical.com/> acesso em 06/01/2006 as 15:30Hs

<http://spec.lib.vt.edu/imagebase/norfolksouthern/full/ns1589.jpeg> acesso em 06/01/2006 as 15:30Hs