

PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA CONTROLE DA
VELOCIDADE DOS TRENS E APLICAÇÃO DA CONDUÇÃO ECONÔMICA: CASO MRS

Laura Ribeiro Abreu Muchinelli

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. José Geraldo Ferreira, M. Sc.

Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, D. Sc.

Eng. Diogo Antonio Rodrigues

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL
NOVEMBRO DE 2008

MUCHINELLI, LAURA RIBEIRO ABREU

Planejamento de um Sistema de Apoio à
Decisão para Controle da Velocidade dos
Trens e Aplicação da Condução Econômica:
caso MRS [Minas Gerais] 2008

X, 56 p. 29,7 cm (EPD/UFJF, Graduação
em Engenharia de Produção, 2008)

Monografia - Universidade Federal de
Juiz de Fora, Departamento de Engenharia
de Produção

1. Velocidade dos Trens
2. Eficiência Energética
3. Condução Econômica

I. EPD/UFJF II. Título (série)

AGRADECIMENTOS

Ao amigo Valmir dos Santos, por ter compartilhado comigo, ao longo deste ano um pouco do seu vasto conhecimento sobre a operação ferroviária e por sua paciência e atenção às minhas dúvidas.

Ao meu orientador José Geraldo Ferreira por todo o apoio necessário ao desenvolvimento deste trabalho, inclusive por ter me sugerido o tema estudado.

Ao meu co-orientador Fernando Marques de Almeida Nogueira pelas conversas, dicas e esclarecimentos essenciais para os resultados aqui obtidos.

Aos convidados da banca, Márcio de Oliveira, na defesa do Memorial de Qualificação, e Diogo Antonio Rodrigues, na defesa da monografia, por me prestigiarem e avaliarem nestes momentos tão importantes da minha vida.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA CONTROLE DA VELOCIDADE DOS TRENS E APLICAÇÃO DA CONDUÇÃO ECONÔMICA: CASO MRS

Laura Ribeiro Abreu Muchinelli

Novembro/2008

Orientador: José Geraldo Ferreira

Curso: Engenharia de Produção

A demanda pelo transporte ferroviário no Brasil tem aumentado bastante nos últimos anos, entretanto, a estrutura ferroviária nacional não é suficiente para suportar tal crescimento. A solução encontrada pelas empresas deste ramo para corresponderem ao aumento de demanda é a intensificação da exploração dos recursos disponíveis, o que requer planejamento em busca de otimização. A MRS Logística SA é uma dessas empresas e tem como meta ser a melhor operadora logística ferroviária do país já nos próximos anos. Porém, para obter sucesso com suas estratégias para aumento de produção, também precisa disponibilizar atenção suficiente para a redução de custos. A velocidade de seus trens é um fator que pode tanto aumentar como reduzir os custos operacionais, por influenciar diretamente no consumo de combustível e na formação de filas. A partir do estudo de viabilidade de variação da velocidade de certos trens de minério de exportação da companhia em questão, e de suas implicações, sobretudo no que diz respeito ao indicador de eficiência energética, chegou-se, por meio deste trabalho, cujo desenvolvimento contou com estudo bibliográfico e coleta de dados diretamente na empresa, à proposição de um sistema de apoio à decisão, capaz de monitorar a prática de uma condução com foco na economia de óleo diesel, considerado uma ferramenta essencial para a análise de cenários complexos, envolvendo muitas variáveis.

Palavras-chaves: velocidade, trens de minério, eficiência energética, condução econômica

Abstract of the monograph presented to the Coordination of the Production Engineering Course as a partial fulfillment of the requirements for the graduation in Production Engineering.

PLANNING OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SPEED CONTROL OF TRAINS
AND APPLICATION OF THE ECONOMIC DRIVING: MRS CASE

Laura Ribeiro Abreu Muchinelli

November/2008

Advisor: José Geraldo Ferreira

Department: Production Engineering

The demand for rail transport in Brazil has increased greatly in recent years, however, the national railway structure is not sufficient to support this growth. The solution found by the companies in this sector to meet the increased demand is intensifying the exploitation of available resources, which requires planning in search of optimization. MRS Logística SA is one of these companies and aims to be the best rail logistics operator in the country in the next few years. However, to achieve success with its strategies for increasing production, also need to provide enough attention to reducing costs. The speed of its trains is a factor that can both increase and decrease operating costs by influencing directly on fuel consumption and the formation of queues. From the study of feasibility of variation in the speed of some trains of ore for export from the company in question and its implications especially with regard to the indicator of energy efficiency, it was got, through this work, whose development had bibliographic study and collect data directly into the company, to the proposition of a decision support system, able of monitoring the practice of driving with a focus on the economy of diesel oil, considered an essential tool for the analysis of complex scenarios, involving many variables.

Keywords: speed, ore trains, energy efficiency, economic driving

SUMÁRIO

Capítulo I – Introdução.....	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Justificativas	1
1.4. Condições de Contorno.....	2
1.5. Metodologia	3
Capítulo II – Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Processos.....	4
2.1.1. Abordagem por Processo.....	5
2.1.2. Análise e Mapeamento de Processos.....	8
2.1.3. Melhorias em Processos.....	9
2.2. Considerações sobre Sistemas de Informação.....	11
2.2.1. Tipos de Sistemas de Informação.....	12
2.2.2. Desenvolvimento de Sistemas de Informação.....	14
2.3. Conceitos sobre Ferrovia e Transporte Ferroviário de Cargas.....	15
2.4. Funcionamento Básico das Locomotivas Diesel-elétricas.....	18
2.4.1. Potência das Locomotivas Diesel-elétricas.....	19
2.5. A Questão da Eficiência Energética.....	21
Capítulo III – Descrição.....	23
3.1. A MRS Logística.....	23
3.2. A Ferrovia do Aço	25
3.2.1. Aspectos da Construção da Ferrovia do Aço.....	26
3.2.2. Fluxo de Transporte Atual através da Ferrovia do Aço.....	27
3.3. O Processo de Transporte do Minério de Ferro.....	28
3.3.1. Variáveis Envolvidas no Processo.....	29
3.3.2. Trens de Minério de Exportação da MRS	29
3.4. O Problema da Velocidade dos Trens.....	31
3.5. Proposta de Estudo e Melhoria das Características Atuais do Processo.....	34
Capítulo IV – Estudo do Caso.....	35
4.1. Mapeamento do Processo.....	35
4.2. O Procedimento de Condução Econômica e seus Resultados.....	39
4.3. Exemplo de Aplicação da Condução Econômica.....	42

4.4. Planejamento de um Sistema para Implantação da Condução Econômica.....	49
4.4.1. Justificativa para a Criação de um Sistema.....	50
4.4.2. Considerações do Sistema.....	50
4.4.3. Requisitos do Sistema.....	51
4.4.4. Saídas do Sistema.....	52
 Capítulo V – Conclusão.....	 53
 Referências Bibliográficas	 54
 Apêndice.....	 56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – “Espaços em branco” entre as funções.....	6
Figura 2 – Visão sistêmica de uma organização.....	7
Figura 3 – Redesenho do processo.....	10
Figura 4 – Transformação de dados em decisões.....	12
Figura 5 – Sistema de informação baseado em computador.....	13
Figura 6 – Malha da MRS Logística.....	24
Figura 7 – Trecho da Ferrovia do Aço.....	25
Figura 8 – Porto de Guaíba.....	28
Figura 9 – Perfil de tração Ferrovia do Aço.....	32
Figura 10 – Posição estratégica do pátio de Barra do Piraí.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espectro dos principais modelos de processos.....	5
Tabela 2 – Conversão da potência na transmissão elétrica.....	19
Tabela 3 – Consumo específico da locomotiva GE C-30-7.....	20
Tabela 4 – Relação do Esforço Trator e da Velocidade por modelo de locomotiva.....	30
Tabela 5 – Algumas possíveis combinações de locomotivas.....	31
Tabela 6 – Significados de cada perfil de rampa.....	32
Tabela 7 – VMA – Velocidades Máximas Autorizadas na Ferrovia do Aço.....	33
Tabela 8 – Trajeto percorrido do terminal de Andaime ao P1-07.....	36
Tabela 9 – Trajeto percorrido do P1-07 ao P2-06.....	36
Tabela 10 – Trajeto percorrido do P2-06 a Barra do Piraí.....	37
Tabela 11 – Trajeto percorrido de Barra do Piraí ao Porto de Guaíba.....	38
Tabela 12 – Resultados da condução comum X Resultados da condução econômica.....	40
Tabela 13 – Velocidade Média comum X Velocidade Média econômica.....	40
Tabela 14 – Atividades propostas na metodologia.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de combustível/Esforço Trator por Ponto de Aceleração.....	21
Gráfico 2 – Produção anual da MRS em milhões de toneladas.Km (2003/2008).....	24
Gráfico 3 – Espaçamento médio de tempo entre os trens de minério no dia 15/07/2008 na Ferrovia do Aço.....	43
Gráfico 4 – Espaçamento médio de tempo entre os trens de minério no dia 15/07/2008 no painel de Barra do Piraí.....	44
Gráfico 5 – Deslocamento do trem NFG 0328 ao longo da Ferrovia do Aço no dia 15/07/2008.....	46
Gráfico 6 – Deslocamento do trem NFG 0328 ao longo do painel de Barra do Piraí no dia 15/07/2008.....	46
Gráfico 7 – Destaque para o tempo de fila do trem NFG 0328 antes da descarga.....	47
Gráfico 8 – Espaçamento médio de tempo entre o trem NFG 0328 e os trens NFG 0228 (seu antecessor) e NEV 0228 (seu sucessor) no dia 15/07/2008 na Ferrovia do Aço.....	48
Gráfico 9 – Cronograma de atividades para elaboração do TCC.....	56

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Segundo dados da ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres (2001), o sistema de transporte ferroviário brasileiro totaliza quase trinta mil quilômetros para tráfego. Em 2000, foi responsável por cerca de 20% do total da carga transportada no país. Entretanto, as ferrovias apresentam-se mal distribuídas, concentrando-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, e atendendo parte do Centro-Oeste e Norte do país. Além disso, a densidade ferroviária brasileira é bastante reduzida em relação à dos EUA e mesmo à da Argentina.

Apesar da inferioridade relativa do modal ferroviário brasileiro, a demanda por este tipo de transporte tem aumentado bastante nos últimos anos, principalmente depois da desestatização do setor em 1996. Porém, considerando-se a precariedade da estrutura férrea e os altos custos inerentes a possíveis investimentos para sua melhoria, a solução viável para se atender à esta demanda é o aumento da capacidade de transporte através da utilização máxima dos recursos disponíveis.

Para que o uso máximo de recursos traga resultados financeiros positivos para as empresas do ramo faz-se necessário um cauteloso planejamento, que, por sua vez, envolve inúmeras variáveis, sendo uma delas a velocidade dos trens. Esta variável, vinculada à eficiência energética, será o problema foco tratado neste trabalho.

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é estudar as especificações necessárias para a criação de um sistema apto a controlar a velocidade dos trens da empresa MRS Logística SA, sediada em Juiz de Fora, priorizando a redução do consumo de combustível. O objetivo secundário, necessário para a validação de tal sistema, é testar a viabilidade de um procedimento operacional de condução econômica, já existente na companhia, que propõe ganhos para a MRS, sobretudo através da redução da velocidade dos trens, e que, em caso de implantação do sistema, deve ser ensinado aos responsáveis pela condução dos trens.

1.3. Justificativas

O consumo de combustível reflete diretamente na produtividade de qualquer empresa do setor ferroviário. Produzir mais com menor utilização de recursos, ou seja, com

utilização eficiente dos insumos produtivos, é o objetivo de qualquer organização que busca lucro. A eficiência no consumo de óleo diesel merece atenção especial devido à representatividade do custo do combustível nos custos totais das empresas do ramo. Na MRS, por exemplo, o gasto com óleo diesel é o maior observado e representa mais de 30% do total de custos da empresa. Não é por acaso que a redução do consumo de combustível é uma meta comum a muitas áreas da empresa no ano de 2008.

Algumas ações simples do dia-a-dia podem colaborar com a economia de combustível, bastando que o maquinista tenha consciência das melhores práticas a serem adotadas. Outras ações, já de cunho institucional, como campanhas, projetos e estudos, também podem contribuir para a obtenção de melhores resultados. A MRS vem desenvolvendo, já há alguns anos, um projeto engajado de estímulo à economia de combustível, que se dá através de competição de desempenho entre os maquinistas e demais envolvidos na operação de condução dos trens. Melhorias na eficiência energética da empresa vêm sendo observadas a cada dia, mas ainda há muito o que se progredir nesse sentido.

A análise das características do transporte, por exemplo, pode, muitas vezes, revelar oportunidades de melhoria. Certas variáveis do processo podem ser estudadas, buscando-se identificar as conseqüências de sua variação para a empresa. A velocidade dos trens da MRS é uma dessas variáveis. Por ser capaz de provocar diferentes cenários, acaba se tornando um fator diferencial para a competitividade da organização. Visualizar e considerar a variação de velocidade dos trens como uma oportunidade de ganho identificada, ou seja, como uma possibilidade não apenas de se fazer economia de combustível, mas também de se tirar vantagens de uma melhor programação da circulação dos trens, é o fator motivacional para o aprofundamento do conhecimento sobre o tema e que dá importância ao mesmo.

1.4. Condições de Contorno

Este trabalho terá como cenário uma empresa do ramo ferroviário, a MRS Logística SA, mais especificamente o trajeto de seu fluxo de maior relevância, em termos de número e prioridade: o dos trens de transporte de minério de ferro para exportação. O foco será dado ao trajeto destes trens quando carregados, ou seja, ao seu deslocamento do ponto de carga ao ponto de descarga, que se dá na maior parte do tempo, ao longo de um trecho geográfico de extrema importância da malha ferroviária da companhia: a Ferrovia do Aço. Para tanto será estudado o cenário pertinente a uma certa amostra de trens, com base na identificação de uma determinada origem e um determinado destino como exemplos.

Em termos da temática abordada, pretende-se focar no estudo das variáveis e restrições do processo de transporte dos trens selecionados, que devem ser consideradas quando cogitada qualquer possibilidade de variação de velocidade de um trem, procurando-se entender a influência da velocidade no consumo de combustível. O trabalho consistirá em observação, análise e sugestão de melhorias para o processo selecionado para estudo, não se pretendendo aqui chegar a detalhamentos matemáticos minuciosos, nem tampouco ao nível de elaboração de teorias. Cabe ressaltar que os resultados obtidos com o estudo do cenário específico escolhido poderão ser generalizados para os demais trens da MRS no momento de se pensar nas especificações de um sistema de apoio à decisão.

1.5. Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho contará com as seguintes atividades, aproximadamente na ordem em que estão descritas:

- Levantamento do estado da arte sobre o conhecimento envolvido em sua elaboração, através, por exemplo, de estudo bibliográfico sobre questões relacionadas ao cenário ferroviário brasileiro e mundial, bem como sobre o assunto específico a ser tratado, por meio de consultas tanto a materiais impressos quanto a publicações *on-line*, via Internet;
- Coleta de dados gerais diretamente na empresa com foco na obtenção de registros internos, seja por meio de materiais impressos, como, por exemplo, estudos já realizados a respeito ou procedimentos já existentes, ou por meio de entrevistas;
- Elaboração do primeiro relatório, o Memorial de Qualificação, simultaneamente às duas primeiras etapas, seguida de sua apresentação;
- Aprofundamento na pesquisa com busca de dados mais específicos, via sistemas internos, observações e medições em viagens selecionadas;
 - Mapeamento do processo analisado;
 - Identificação de oportunidades de melhoria;
 - Estudo e teste de aplicabilidade do procedimento de condução econômica;
 - Análise dos dados, por meio de comparações entre situações reais e hipotéticas;
 - Proposição de um sistema que possa monitorar as variações de velocidade dos trens da MRS, voltado para a economia de combustível da companhia e baseado na condução econômica;
- Conclusão do relatório final, o Trabalho de Conclusão de Curso, seguida de sua apresentação.

Pretende-se seguir, ao longo do ano, o cronograma do Gráfico 9, cujas atividades estão descritas na Tabela 14, como pode ser visto no Apêndice.

Capítulo II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processos

O conceito de “processo” já foi e continua sendo definido por diversos autores, que, basicamente, fundamentam-se nas mesmas idéias. Para Davenport (1994 apud Villela, 2000), seria uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, *inputs* e *outputs* claramente identificados, enfim, uma estrutura para ação. Já Harrington (1993 apud Villela, 2000), o define como sendo um grupo de tarefas interligadas logicamente, que utilizam os recursos da organização para gerar os resultados definidos, de forma a apoiar os seus objetivos.

Em síntese, costuma-se dizer que um processo dispõe de *inputs*, *outputs*, tempo, espaço, ordenação, objetivos e valores que, interligados logicamente, irão resultar em uma estrutura para fornecer produtos ou serviços ao cliente.

Gonçalves (2000a), entretanto, vai além da idéia de processo baseada no fluxo de trabalho. Para ele, o fluxo de trabalho é apenas um dos tipos de processo empresarial, talvez aquele em que as atividades são mais interdependentes e realizadas numa seqüência específica. Existem ainda os processos que não têm início e fim claros ou cujo fluxo não é bem definido, sendo que alguns deles têm impacto maior que os demais na própria viabilidade da empresa, como aqueles ligados à sucessão, ao desenvolvimento dos gerentes e à avaliação do desempenho do pessoal. Os cinco modelos básicos de processos empresariais abrangem desde o mais concreto e objetivo modelo, baseado no fluxo de materiais, até o modelo mais abstrato, que se fundamenta na mudança de estados de um sistema, como na Tabela 1:

Tabela 1: Espectro dos principais modelos de processos

Processo como	Exemplo	Características
Fluxo de material	Processos de fabricação industrial	* inputs e outputs claros * atividades discretas * fluxo observável * desenvolvimento linear * sequência de atividades
Fluxo de trabalho	Desenvolvimento de produto Recrutamento e contratação de pessoal	* início e final claros * atividades discretas * sequência de atividades
Série de etapas	Modernização do parque industrial da empresa Redesenho de um processo Aquisição de outra empresa	* caminhos alternativos para o resultado * nenhum fluxo perceptível * conexão entre atividades
Atividades coordenadas	Desenvolvimento gerencial Negociação salarial	* sem sequência obrigatória * nenhum fluxo perceptível
Mudança de estados	Diversificação de negócios Mudança cultural da empresa	* evolução perceptível por meio de indícios * fraca conexão entre atividades * durações apenas previstas * baixo nível de controle possível

Fonte: Gonçalves (2000a)

Como visto, apesar de muitas características em comum, os processos também variam significativamente em termos de modo de operação, conforme seu estágio de evolução, sua inter-relação com outros processos e a natureza específica dos resultados produzidos. Sua compreensão é importante pois são as chaves para o sucesso em qualquer negócio. De maneira geral, em uma empresa, segundo Gonçalves (2000a), os processos podem ser classificados como internos (quando iniciam e terminam dentro da mesma empresa) e como externos (quando envolvem empresas diferentes para sua realização), sendo que a maioria deles tem caráter inter-funcional e com fornecimento para clientes que podem ser internos (que ocorrem dentro da organização, nas relações entre processos) ou externos (que demandam o produto ou serviço da organização) à organização.

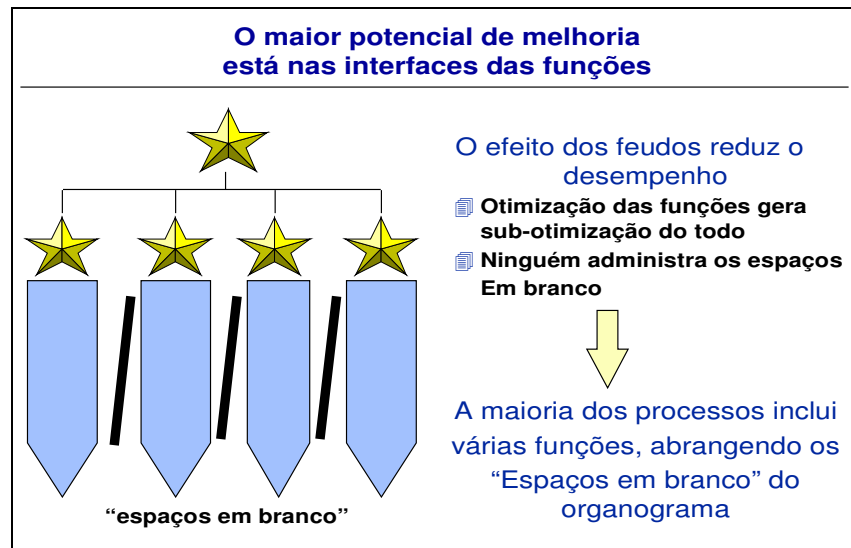
2.1.1. Abordagem por Processo

Quando examinamos com atenção uma Organização, a primeira coisa que vemos são as diversas funções. No entanto, a visão sistêmica sugere que essa perspectiva não nos permite compreender o modo como o trabalho é realmente feito, e isso é um precursor necessário ao aperfeiçoamento do desempenho. Para ter essa compreensão, precisamos olhar os processos. (RUMMLER; BRACHE, 1992 apud CAMPOS *et al.*, 2003)

Segundo Rummler e Brache (1992 apud Campos *et al.*, 2003), a falta de visão sistêmica dos processos da organização aliada a uma preocupação das equipes apenas com suas áreas, menosprezando os clientes internos e externos, são alguns dos fatores que

criam um conjunto desalinhado de esforços, que podem fazer pessoas e equipes de boas intenções caminharem em direções diferentes. O que acontece, com frequência, são os chamados “espaços em branco” (Figura 1), ou seja, espaços inter-departamentais sem nenhuma administração, onde as coisas costumam “desaparecer em um buraco negro”.

Figura 1: “Espaços em branco” entre as funções



Fonte: Lima (1999 apud Campos *et al.*, 2003)

Ainda para Rummler e Brache (1992 apud Campos *et al.*, 2003), o nível do processo é o menos entendido e menos gerenciado de uma organização, portanto é nele que a mudança mais substancial, em geral, precisa acontecer, pois melhorar o desempenho do processo implica em melhorar o desempenho da organização. A visão sistêmica de uma organização, ou seja, a visão horizontal através dos processos, inclui várias funções, abrangendo os “espaços em branco” do organograma, que são os pontos sujeitos às maiores oportunidades de melhoria. É o que se vê na Figura 2:

Figura 2: Visão sistêmica de uma organização



Fonte: Lima (1999 apud Campos *et al.*, 2003)

A Gestão por Processos considera a organização como um sistema integrado, onde o trabalho é executado através de seus processos. De acordo com Gonçalves (2000a), as empresas estão organizando seus recursos e fluxos ao longo de seus processos básicos de operação, abandonando a estrutura por funções, que foi a forma organizacional predominante nas empresas do século XX. Para tanto, sua própria lógica de funcionamento está passando a acompanhar a lógica desses processos, e não mais o raciocínio compartimentado da abordagem funcional.

Gonçalves (2000b) também afirma que a organização de uma empresa por processos pode ter a aparência de uma estrutura funcional, com áreas funcionais bem definidas, mas com processos operando efetivamente de forma ortogonal (na horizontal). Além disso, muitas vezes, as mesmas pessoas participam de vários processos simultaneamente.

Segundo Campos *et al.* (2003), a Gestão por Processos traz muitos benefícios para a organização, entre eles:

- Concentra o foco no que realmente interessa: o trabalho;
- É uma ferramenta para implementação da estratégia organizacional;
- Confere simplicidade e agilidade às atividades;
- Dota a organização de flexibilidade organizacional;
- Facilita a gestão através da identificação de indicadores de desempenho e medição de melhorias nos processos;
- Permite uma visão integrada da organização;
- Instrumentaliza a aplicação de abordagens inovadoras;

- Facilita a gestão do conhecimento organizacional e a gestão de competências.

Complementando a idéia de abordagem por processo, Villela (2000) ainda esclarece que a equipe de projeto deve partir sempre da perspectiva do cliente (interno ou externo), de forma a atender às suas necessidades e preferências, ou seja, o processo deve começar e terminar no cliente e cada uma de suas etapas deve agregar valor para este, caso contrário, será considerada desperdício, gasto, excesso ou perda, o que representaria redução de competitividade e justificaria uma idéia de mudança. Também para Gonçalves (2000b), o cliente está no centro das organizações por processos, e o objetivo final dessas empresas é oferecer para o cliente mais valor, de forma mais rápida e a um custo mais baixo.

2.1.2. Análise e Mapeamento de Processos

Segundo Campos *et al.* (2003), para se compreender e ser capaz de aperfeiçoar uma organização é preciso “descascar a cebola”, ou seja, examinar os processos internos pelos quais as entradas são convertidas em saídas. Gonçalves (2000b) complementa essa idéia ao afirmar que a análise dos processos nas empresas implica a identificação de suas diversas dimensões: fluxo (volume por unidade de tempo), seqüência das atividades, esperas e duração do ciclo, dados e informações, pessoas envolvidas, relações e dependências entre as partes comprometidas no funcionamento do processo.

Percebe-se assim, que entender um processo envolve analisar detalhadamente as atividades realizadas pelas pessoas em vários aspectos, como: procedimentos, perfil dos recursos humanos, área física, informatização, automação, entre outros.

Para Campos *et al.* (2003), a análise do processo deve ser alicerçada, sobretudo, nos seguintes valores:

- O foco do processo é o cliente;
- Quem mais sabe sobre uma atividade é quem a realiza;
- O foco do estudo é o processo e não as pessoas que nele trabalham.

Souza (2002 apud Campos *et al.*, 2003) também defende a idéia de que para se aperfeiçoar processos é necessário entendê-los e, para tanto, é preciso compreender claramente várias de suas características. Segundo ele, algumas características importantes de processos são as seguintes:

- **Fluxo:** os métodos de transformar entradas em saídas;
- **Eficácia:** o grau com que as expectativas do cliente são atendidas;
- **Eficiência:** o grau de aproveitamento dos recursos para produzir uma saída;
- **Tempo de ciclo:** o tempo necessário para transformar uma entrada em uma saída;
- **Custo:** o dispêndio de todo o processo.

O entendimento das características de um processo é essencial por três motivos:

- Possibilidade de identificar as áreas com problemas-chave;
- Fornecimento dos dados necessários para a tomada de decisão;
- Base para o estabelecimento de metas de aperfeiçoamento e para a avaliação de resultados.

O método mais completo e detalhado de identificação das características de um processo é o mapeamento de processos. De acordo com Campos *et al.*, mapear o processo é “descrever o caminho” ou, simplesmente, “fotografar” o processo, visando o seu entendimento por todos os envolvidos, o que pode envolver a utilização de várias ferramentas de apoio e até mesmo visitas às áreas envolvidas.

O mapeamento de processos seria uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação que têm a intenção de ajudar a melhorar os processos existentes ou de implantar uma nova estrutura voltada para processos. A sua análise estruturada permite, ainda, a redução de custos no desenvolvimento de produtos e serviços, a redução nas falhas de integração entre sistemas e melhora do desempenho da organização, além de ser uma excelente ferramenta para possibilitar o melhor entendimento dos processos atuais e eliminar ou simplificar aqueles que necessitam de mudanças (HUNT, 1996 apud VILLELA, 2000)

Campos *et al.* (2003) ainda afirmam que a análise completa de um processo, além de estabelecer para este todas as suas práticas de trabalho, produtos, entradas e saídas e além de possibilitar a descoberta de desconexões ou “fios desligados” no mesmo, também inclui a identificação e medição de indicadores. Além de serem referências para a definição de metas, os indicadores também revelam o nível de atendimento aos requisitos de clientes e fornecedores. Portanto, através deles, os resultados dos processos são avaliados, o que possibilita o levantamento de oportunidades de melhoria.

2.1.3. Melhorias em Processos

Depois de analisar um processo, mapear suas atividades e identificar seus pontos fracos, pode-se, então, “desenhar uma situação futura (ideal) criando soluções alternativas de melhorias do processo, que possibilitem aperfeiçoar a eficiência, a eficácia e a adaptabilidade da situação atual existente”. (LIMA, ROCHA, PINSETTA, 2003 apud CAMPOS *et al.*, 2003).

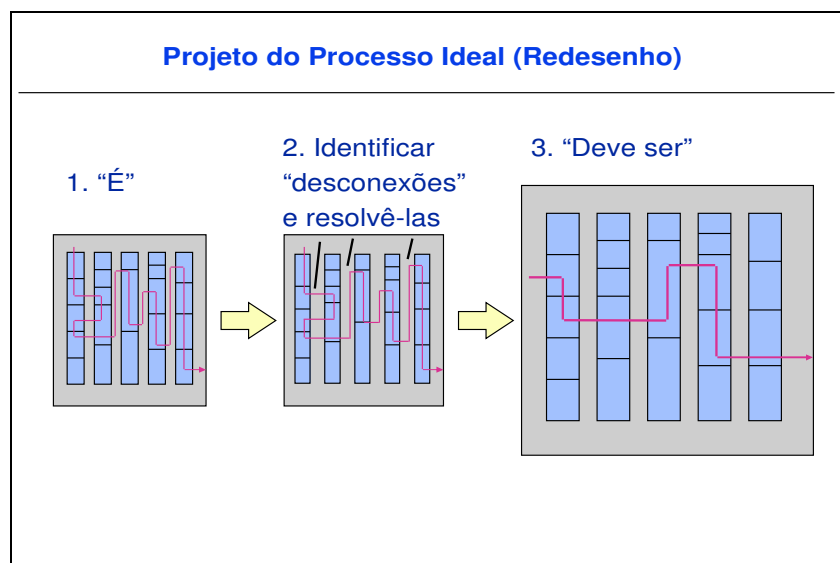
Os programas e ações de melhoria de processo, que são ferramentas da Qualidade, se fazem necessários quando uma ou mais das quatro condições acontecem:

- A missão da organização muda ou é aumentada;
- As necessidades ou desejos do cliente se alteram de maneira substancial;

- As medidas de performance indicam que a performance do processo está constantemente abaixo dos padrões desejados;
- Necessidade de atualização tecnológica.

A melhoria em processos envolve uma fase de redesenho do processo atual e uma fase de implementação do processo melhorado. O redesenho do processo atual é o planejamento das mudanças necessárias para se alcançar melhorias na forma como o trabalho passará a ser realizado, buscando-se tratar as desconexões encontradas no processo atual, bem como contemplar os requisitos dos clientes, como demonstra a Figura 3. A implementação do processo melhorado compreende a implantação efetiva das mudanças (melhorias) planejadas, com a preparação da documentação que passará, então, a dar suporte ao trabalho. É nessa etapa que se realiza a divulgação do novo processo e o treinamento para todos os envolvidos.

Figura 3: Redesenho do processo



Fonte: Lima (1999 apud Campos *et al.*, 2003)

Adair e Murray (1996 apud Villela, 2000) atentam ao fato de que os métodos e as ferramentas de melhoria e redesenho de processos propiciam os melhores resultados quando o processo é bem delineado, com começo e fim demarcados, quando há uma ou mais formas de medi-lo e quando pode ser analisado passo a passo. Para Lima, Rocha e Pinsetta (2003 apud Campos *et al.*, 2003), a implantação das mudanças, inovações e melhorias deve ser realizada de forma gradual, principalmente num processo de grandes dimensões. Recomenda-se o desenvolvimento de uma implantação piloto para se validar o funcionamento da proposta em dimensões menores e levar a cabo os refinamentos necessários. Além disso, num projeto de melhoria, é essencial o envolvimento, em todas as

suas etapas, do maior número possível de trabalhadores ligados ao processo, para que eles se sintam responsáveis pelas mudanças.

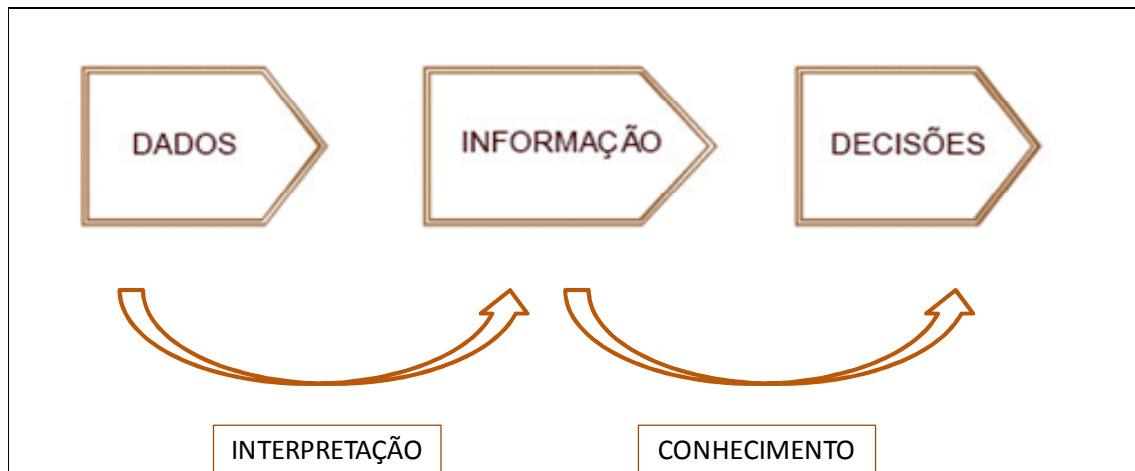
Campos *et al.* (2003) lembram que a determinação de metas e objetivos não deve ser realizada de forma arbitrária. Os estudos de melhoria devem ser pautados pela possibilidade imediata ou futura de implementação e, sobretudo, devem priorizar os processos críticos.

Uma vantagem específica pode ser obtida e explorada pelas empresas que decidem investir no aperfeiçoamento de processos cuidadosamente escolhidos. A experiência tem mostrado que o aperfeiçoamento de processos errados pode levar ao paradoxo dos processos: as empresas podem ter mau desempenho e até mesmo falir ao mesmo tempo que esforços de melhoria de processos estão sendo feitos para melhorar dramaticamente a eficiência por meio da economia de tempo e dinheiro e melhorando a qualidade do produto e o serviço ao cliente. Muitas vezes, os resultados são dramáticos em termos de processos individuais, mas os resultados globais são decepcionantes. (HALL *et al.*, 1993 apud GONÇALVES, 2000a)

Também de acordo com Campos *et al.* (2003), após a implantação das mudanças e a padronização da nova rotina, ainda se deve insistir na permanência das mudanças. Mesmo depois de melhorado, o processo, que deve ser visto como um recurso valioso da organização, precisa continuar sendo acompanhado e monitorado, pensando-se sempre na questão da melhoria contínua. As lideranças do processo devem estar atentas à rotina, procurando sempre documentar e medir os eventos indesejados, para que um novo ciclo de estudos do processo possa saná-los. Segundo Lima, Rocha e Pinsetta (2003 apud Campos *et al.*, 2003), para a realização do monitoramento do processo, é recomendado que, no mínimo, os mais importantes indicadores do processo estejam sempre vigiados. Com tal gerenciamento contínuo, os “gargalos” e “folgas” do processo podem ser identificados e, assim, novas ações de melhoria podem ser propostas em um ciclo também contínuo.

2.2. Considerações sobre Sistemas de Informação

De acordo com Martins (2005), um sistema de informação é um conjunto de componentes responsáveis pelo recolhimento, armazenamento e análise de dados e pela disponibilização de informação relevante para a organização, cujo objetivo principal é facilitar o planejamento, o controle, a coordenação e a tomada de decisão ou ação pelos membros desta. Ou seja, da simples obtenção de um dado até uma possível ação existe a seguinte transformação (Figura 4):

Figura 4: Transformação de dados em decisões

Fonte: Martins (2005). Modificada pela autora.

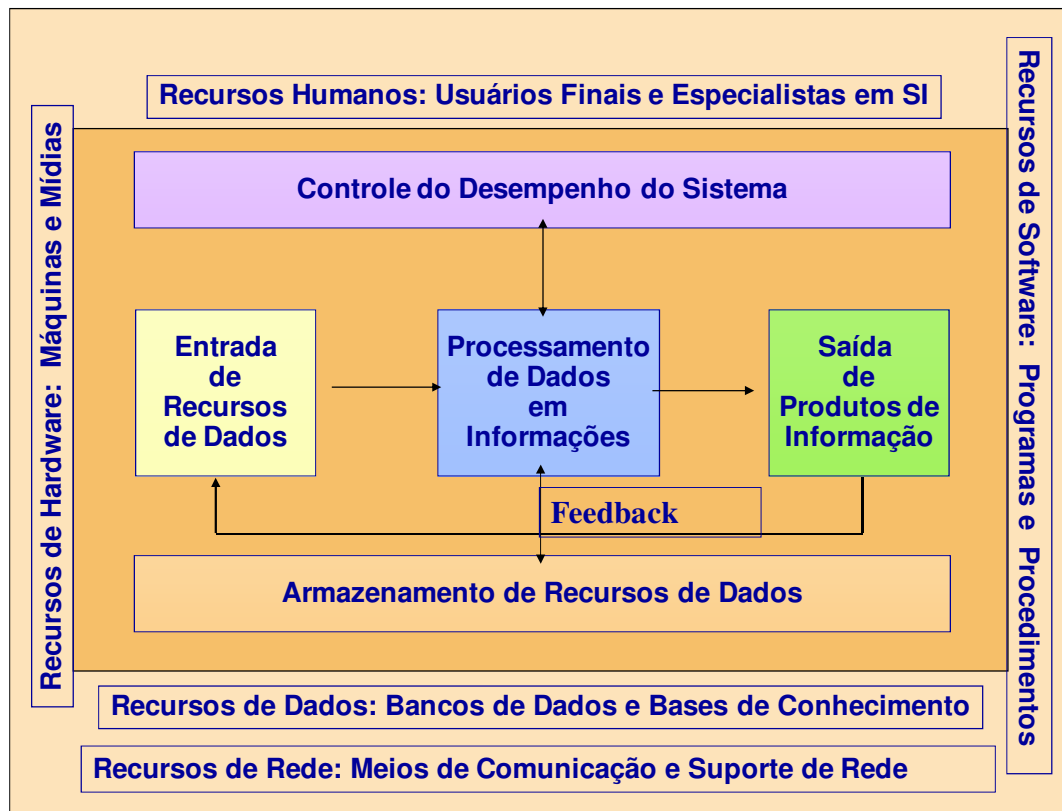
Dados são os fatos em sua forma primária. Ao serem interpretados, transformam-se em informação, logo informação é um conjunto de dados organizados de tal forma que adquirem valor adicional além do valor do fato em si. Quando a informação obtida tem certa utilidade, ganha status de conhecimento e é com base neste conhecimento que as decisões podem ser tomadas seja em qualquer processo ou organização.

Souza (2008) complementa a idéia de sistema de informação ao dizer que, além do suporte à tomada de decisão, coordenação e controle, este ainda pode auxiliar os gerentes e funcionários na criação de novos produtos.

2.2.1. Tipos de Sistemas de Informação

Os sistemas de informação podem ser informais ou formais, sendo que os últimos se dividem em manuais ou baseados em computador. Os manuais necessitam basicamente de papel e lápis, já os baseados em computador utilizam a tecnologia de *hardware*, *software*, banco de dados e telecomunicações para processar e disseminar a informação, como no esquema da Figura 5, trazendo para as organizações que os utilizam, como afirma Cardoso (2007), uma série de benefícios: vantagens competitivas, melhores serviços, menos erros, maior precisão, produtos de melhor qualidade, aperfeiçoamento, melhor eficiência, maior produtividade, maiores oportunidades, administração mais eficiente, automatização de tarefas rotineiras, custos reduzidos, maior e melhor controle sobre as operações e melhores tomadas de decisões. Além disso, o grande diferencial obtido com a utilização de sistemas de informação baseados em computador é o potencial de trabalho com um gigantesco número de dados simultaneamente.

Figura 5: Sistema de informação baseado em computador



Fonte: Souza (2008)

Onde:

Entrada: captação dos dados primários;

Processamento: conversão ou transformação dos dados em saídas úteis; pode envolver cálculos, comparações e tomadas de ações alternativas, e armazenagem de dados para ações futuras;

Saída: produção de informações úteis, geralmente na forma de documentos, relatórios e dados de transações;

Feedback ou Retroalimentação: saída utilizada para fazer ajustes ou modificações nas atividades de entrada ou processamento.

Como existem diferentes níveis numa organização é natural que também existam diferentes tipos de sistemas de informação com diferentes especializações. Para Martins (2005), sua classificação baseia-se fundamentalmente nos seguintes critérios:

- Funções que desempenham;
- Níveis de gestão e tipos de decisão para que servem em primeiro lugar;
- Forma (grau de funcionalidade, automação e programação).

Luppi (2008a) afirma que os sistemas de informação podem ser classificados em:

- Sistemas de Processamento de Transações (SPTs): atendem ao nível operacional, são computadorizados e realizam transações rotineiras como folha de pagamento, pedidos, etc.. Além disso, são a principal fonte de dados para os outros sistemas;
- Sistemas de Trabalhadores de Conhecimento (STCs): atendem necessidades do nível de conhecimento, envolvendo trabalhadores de conhecimento, ou seja, pessoas com formação universitária, como engenheiros e cientistas, que criam informações;
- Sistemas de Automação de Escritório: atendem necessidades do nível de conhecimento, envolvendo trabalhadores de dados que possuem educação inferior, como secretárias, contadores, arquivistas, etc., e que manipulam informações prontas;
- Sistemas de Informação Gerencial (SIGs): dão suporte ao nível gerencial por meio de relatórios, processos correntes e históricos através de acessos on-line. São orientados a eventos internos, apoiando o planejamento, controle e decisão, e dependem dos SPTs para aquisição de dados, resumindo e apresentando operações e dados básicos periodicamente;
- Sistemas de Apoio à Decisão (SADs): atendem também ao nível de gerência ajudando a tomar decisões não usuais com rapidez e antecedência a fim de solucionar problemas não previstos. Usam informações internas obtidas dos SPTs e SIGs e também externas, como preços de produtos concorrentes, etc.. Têm maior poder analítico que os outros sistemas, possuem uma interface de fácil acesso e atendimento ao usuário e são interativos, podendo-se alterar e incluir dados através de menus que facilitam a entrada destes e a obtenção de informações processadas;
- Sistemas de Apoio ao Executivo (SAEs): também atendem ao nível gerencial, sobretudo aos gerentes seniores que tem pouca ou nenhuma experiência com computadores. Servem como apoio para as tomadas de decisões não rotineiras, que exigem bom senso, avaliação e percepção, e são projetados para incorporar dados externos, como leis e novos concorrentes. Também adquirem informações dos SIGs e SADs e possuem fácil comunicação e interface.

2.2.2. Desenvolvimento de Sistemas de Informação

A seleção/implementação de um sistema de informação é um fator crítico para o sucesso de uma organização. Seu desenvolvimento, segundo Martins (2005), envolve cinco etapas distintas:

- Planejamento: estudo do sistema e definição das necessidades;
- Análise: construção do modelo conceitual de dados;
- Desenho: construção do modelo lógico de dados;

- Construção: construção do modelo físico de dados;
- Exploração: implementação e manutenção do sistema.

De acordo com Luppi (2008b), cada organização determina sua própria unidade responsável pelos serviços tecnológicos, como manutenção de *hardware* e *software* e armazenagem de dados e redes, que faz parte de seu departamento de sistemas de informação, composto por programadores e analistas de sistemas. Porém, para a elaboração de um sistema de informação com êxito, além do pessoal deste setor, também devem ser considerados os colaboradores que participam das atividades diárias da empresa, de qualquer nível hierárquico, e os fatores externos, como fornecedores, empresas de *software* e *hardware* e consultores. Inclusive, hoje, a maioria das empresas costuma usar o departamento de sistemas de informação para coordenar e acompanhar o desenvolvimento de um sistema, realizado, na verdade, por uma equipe que não faz parte da organização.

Orlandini (2005) ressalta que o desenvolvimento de um sistema de informação, bem como sua análise, deve ser feito de maneira independente, para que, depois de concluído, reste apenas a sua transmissão ao computador, já que a eficiência do sistema criado não é medida pelo grau de informatização, mas pela qualidade e eficiência dos métodos, assegurando a informação desejada, confiável e no tempo certo. O entendimento da diferença entre o desenvolvimento e a programação de um sistema de informação proporciona a criação de rotinas mais adequadas, mais segurança, maior controle, além de possibilitar à empresa uma análise clara dos benefícios (ou não) que a informatização pode trazer. Souza (2008) é também adepto de tal idéia ao afirmar que para se entender um sistema de informação deve-se estudar os problemas para as soluções dos quais ele foi projetado, seus elementos arquiteturais e de projeto e os processos organizacionais que causaram a necessidade destas soluções.

Espera-se, por fim, que o sistema criado seja flexível, tenha diferentes opções de manuseio de dados, estilos, habilidades e conhecimentos, acompanhe o andamento de alternativas e conseqüências, sendo de fácil interface com o usuário e sensível a exigências políticas e burocráticas. E que, além disso, tenha boa aceitação pelos funcionários da empresa, o que demanda da gerência um estudo criterioso de todos os processos e recursos existentes e a capacitação de pessoal por meio de treinamentos adequados.

2.3. Conceitos sobre Ferrovia e Transporte Ferroviário de Cargas

Para um melhor entendimento deste trabalho, cabe aqui esclarecer alguns termos típicos do vocabulário ferroviário, com base em dados da Confederação Nacional do Transporte (2008):

Aderência: Resistência que se opõe ao escorregamento de um corpo sobre outro (por exemplo, de uma roda sobre um trilho).

Auxílio: Reforço de tração obtido através da anexação de locomotivas na cauda do trem.

Bitola: É a distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos, tomada na linha normal a essas faces, 16 mm abaixo do plano constituído pela superfície superior do boleto.

Braco posicionador: Equipamento utilizado para posicionar os vagões nos viradores durante a descarga.

Carga: Tudo aquilo que se transporta de qualquer modo e por qualquer meio. A palavra carga pode ser empregada no sentido amplo para designar as bagagens, encomendas, mercadorias e animais ou tão somente o transporte de mercadorias.

Carga Geral: Cargas variadas de maior valor agregado, tais como produtos siderúrgicos, cimento, *commodities*, entre outras.

Cavalo de Força (HP): Unidade de potência que corresponde ao trabalho realizado em um segundo, para elevar 550 libras a um pé de altura (550 *footpounds/second*).

Centro de Controle Operacional (CCO): Órgão que centraliza e controla as atividades técnicas da operação.

Concessão: Ato do Poder Político delegando à iniciativa privada a construção, uso e gozo de um serviço prestado tradicionalmente pelo estado, e em cujo contrato se estabelecem as vantagens e obrigações do concessionário.

Cruzamento: Interseção de uma via férrea com outra; peça usinada com trilho e contra-trilho ou peça maciça com caminho de friso que permite à roda seguir em uma das vias atravessando a outra.

Despachador: Controlador da circulação; responsável pelos despachos dos trens.

Escoteira: Trem formado apenas com locomotivas, reunidas e direcionadas para um mesmo destino.

Esforço Trator: Força a ser aplicada à carga total (peso útil mais tara) a fim de se conseguir o seu deslocamento sobre a via.

Freio Dinâmico: freio que utiliza a energia potencial (cinética e gravitacional) do trem na descida de uma rampa pela força da gravidade para, através de sua transformação em energia elétrica, produzir uma força de oposição à aderência das rodas nos trilhos.

Headway: Intervalo entre trens.

Linha (Linha Férrea): Conjunto de trilhos assentados sobre dormentes, em duas filas, separadas por determinada distância, associado aos acessórios de fixação, aparelhos de mudança de via (chaves, por exemplo) e desvios, onde circulam os veículos e locomotivas, podendo ainda, num sentido mais amplo, incluir os edifícios, pontes, viadutos, etc..

Linha Simples (ou Singela): Também chamada de via singela, ocorre quando há uma só via onde os trens transitam nos dois sentidos, com cruzamentos feitos em desvios.

Locotrol ou Potência Distribuída: Tecnologia portátil de controle de tração de locomotivas, com a qual o maquinista fica na locomotiva líder operando as remotas por controle via rádio de forma sincronizada e independente. Entre as vantagens do sistema destacam-se a economia de combustível e a maior produtividade dos maquinistas, já que, quando realizado o enlace Locotrol, o trem pode ser conduzido por apenas um maquinista em vez de dois.

Malha Ferroviária: Compreende o conjunto de infra-estrutura de vias (ramais e troncos), terminais de transbordo, pátios de manobra, balanças e centros de controle operacional do sistema ferroviário.

Pátio: Grande área externa de terreno, mais ou menos nivelada, em torno das estações, oficinas, depósitos, etc., onde se colocam desvios. Ali, um conjunto de vias é preparado para formação de trens, manobras e estacionamento de veículos ferroviários e outros fins.

Programação de Trens: Uma programação contendo os horários, instruções e especificações para operação dos trens nos trechos, inclusive instruções especiais concernentes à triagem.

Ramal: Trecho de linha que se destaca da linha tronco (principal) da estrada. Linha férrea que se deriva de um tronco ferroviário.

Rampa: Trecho da via férrea que não é em nível.

Rede Ferroviária: Conjunto de estradas de ferro que se acham ligadas entre si, formando um todo.

Sistema de Aceleração Independente (SAI): Sistema de distribuição da aceleração de uma composição de locomotivas, através de transmissão elétrica de comandos da locomotiva líder para as comandadas, cujo controle é realizado pelo maquinista da líder por meio de um computador de bordo.

Tabela: Conjunto de vagões que costumam se deslocar juntos, sempre com a mesma formação.

Terminal: Ponto onde termina a linha. Conjunto de equipamentos e edifícios situados nas pontas das linhas de uma estrada de ferro (início ou término da linha) ou mesmo em pontos intermediários, ocupados para trânsito de passageiros e reagrupamento de cargas e também formação e despacho de trens. Nos terminais, os trens são compostos, manobrados, carregados e/ou descarregados, revisados, ou simplesmente parados por razões operacionais, como em cruzamentos entre trens de sentidos opostos.

Tonelada Quilômetro Útil (TKU): Unidade de medida equivalente ao transporte de uma tonelada útil de carga pela distância de um quilômetro.

Tonelada Útil (TU): Unidade correspondente ao transporte de uma tonelada de carga. A carga útil mais o peso do veículo vazio (tara) formam o peso bruto (Tonelada Bruta – TB).

Transit Time: Padrão de tempo, que se assume em qualquer ordem, para o movimento físico de itens de uma operação à outra.

Trecho Crítico: Trecho da via permanente que apresenta condições técnicas desfavoráveis, provocando limitações à tração na seção considerada.

Truque: Agrupamento de eixos, todos conectados a duas rodas, sob a locomotiva. Responsável por receber e distribuir o peso da locomotiva às rodas motrizes.

Velocidade de Regime de uma Locomotiva: É a velocidade média, normal, que ela pode manter desenvolvendo o seu esforço médio de tração. Ocorre quando o esforço trator aplicado é igual à resistência a ser vencida.

Velocidade Máxima Autorizada: Velocidade máxima permitida, indicada no horário ou nas instruções especiais.

Via permanente: Abrange toda a linha férrea, os edifícios, as linhas telegráficas, etc..

Virador de vagão: Equipamento utilizado para virar os vagões na descarga.

2.4. Funcionamento Básico das Locomotivas Diesel-elétricas

Brina (1982) afirma que o primeiro motor diesel foi construído por Rodolphe Diesel em 1897. No início do século XX foram realizadas as primeiras experiências para a aplicação do mesmo na tração de veículos, mas somente a partir de 1934 a locomotiva a motor diesel conquistou a confiança das ferrovias. As primeiras locomotivas diesel recebidas no Brasil foram fabricadas pela *English Electric*, com 450 HP de potência, e entraram em serviço em 1938 na antiga Viação Férrea Leste Brasileiro.

A locomotiva diesel-elétrica é um vasto equipamento eletro-mecânico e constitui um grupo gerador completo: a diferença essencial entre a locomotiva elétrica e a diesel-elétrica é que a última leva consigo a usina geradora de energia elétrica. Apesar de algumas diferenças básicas entre os fabricantes, Brina (1982) também afirma que a locomotiva diesel-elétrica é composta essencialmente pelos elementos: motor diesel, gerador principal, gerador auxiliar, bateria, motores elétricos de tração e engrenagens.

O motor diesel fornece em regime uma potência constante, ou seja, é o sistema de transmissão que a transforma em conjugado (esforço trator) e velocidade de acordo com as necessidades. No caso da transmissão elétrica, que pode ser usada para qualquer faixa de potências, o esforço mecânico é transmitido às rodas por meio de motores elétricos de tração do tipo série, alimentados pelo gerador principal à tensão variável, que, por sua vez, é acionado pelo motor diesel, montado em seu mesmo eixo, e excitado pelo gerador auxiliar. De acordo com Kitamura (2006), tanto os modelos mais comuns de locomotiva diesel-elétrica da *General Electric* quanto os da *General Motors* possuem seis motores de tração distribuídos em dois truques localizados sob a locomotiva. O rendimento desse tipo de transmissão é de 82% em média.

2.4.1. Potência das Locomotivas Diesel-elétricas

A potência de uma locomotiva diesel-elétrica é controlada pela injeção de combustível no motor diesel, que é determinada pelo maquinista através do manípulo de aceleração colocado no pedestal da cabine. Nas locomotivas dotadas de governador, o fluxo de combustível é controlado por quatro válvulas eletromagnéticas que atuam em oito combinações possíveis, correspondendo cada uma delas a um ponto de aceleração, isto é, a um nível de potência da locomotiva. A posição do manípulo de aceleração, nas locomotivas dotadas de injeção eletrônica, é diretamente informada ao computador do sistema de injeção de combustível do motor diesel, que atua sobre as bombas injetoras que controlam o fluxo de combustível fornecido. (MORAIS, 2004)

De acordo com Brina (1982), a variação de rotação do motor diesel é conseguida através dos reguladores de potência. O chamado governador da locomotiva diesel é um regulador de velocidade; trata-se de um aparelho comandado eletricamente pela alavanca de aceleração e utilizado para manter constante a velocidade do motor diesel em pontos predeterminados. Sua função é compatibilizar a potência exigida para certo desempenho do trem com a potência do motor diesel, regulando a injeção de combustível e, conseqüentemente, a sua rotação. Para tanto, ele é composto por um aparelho sensível à velocidade (mecanismo principal), um elemento de potência, que varia a quantidade de combustível injetado nos cilindros do motor, e um elemento estabilizador, que impede oscilações em seu funcionamento.

Segundo Kitamura (2006), apesar de utilizado maciçamente nas locomotivas diesel-elétricas, nem sempre o comando da aceleração do motor diesel é efetuado pelo governador. Pode-se equipar a locomotiva com um sistema de injeção eletrônica de combustível. Neste caso, o governador é substituído por uma Unidade Governadora Eletrônica (EGU).

Como já dito, a locomotiva diesel é caracterizada por ter uma potência constante, sendo que os motores de tração recebem tensão variável. O gerador principal tem a mesma velocidade de rotação do motor diesel, que é constante, em regime, ou seja, quando o esforço trator é igual à resistência a se vencer. Sendo assim, uma potência constante representada por um produto constante F (esforço trator) $\times V$ (velocidade), se converte eletricamente num outro produto constante E (voltagem) $\times I$ (corrente), como se vê na Tabela 2:

Tabela 2: Conversão da potência na transmissão elétrica

$(POTÊNCIA)^{cte}$	$=(F \times V)^{cte}$	$=(E \times I)^{cte}$
--------------------	-----------------------	-----------------------

Fonte: Autora (2008)

Existe, logo, uma correlação clara entre intensidade da corrente, esforço trator, voltagem e velocidade e a proporção de tal correlação depende da potência disponibilizada em cada ponto de aceleração e das condições físicas impostas por cada percurso associadas às opções de condução do maquinista. Infere-se aqui que o consumo de combustível por unidade de tempo é função de todas essas variáveis e também da combinação de pontos de aceleração no caso de locomotivas tracionando em conjunto (sistema comandante-comandadas).

Em linhas gerais, quanto maior o ponto de aceleração de uma locomotiva, maior o seu consumo de combustível por unidade de tempo, porém maior também a potência por ela gerada. Considerando-se que a potência aumenta com o aumento do ponto de aceleração em uma proporção maior que o aumento do consumo de combustível/tempo, pode-se afirmar que o consumo de combustível por unidade de tempo e por unidade de potência diminui com o aumento do ponto de aceleração, como exemplifica a Tabela 3. Para efeito de um melhor entendimento dos números basta converter a unidade HP ("cavalo" ou *horsepower*) em W (Watt), multiplicando-se o valor em HP por 745,6999, o que equivale a dizer que 1 HP é igual a 745,6999 W.

Cabe ressaltar que o consumo medido no exemplo em questão deu-se em quilogramas por hora. Além disso, convém esclarecer que o aumento de potência observado do quinto para o sexto ponto de aceleração, sem que houvesse aumento das rotações do motor diesel, pode ser explicado pela excitação independente do gerador principal ocasionada pela corrente que este recebe do gerador auxiliar.

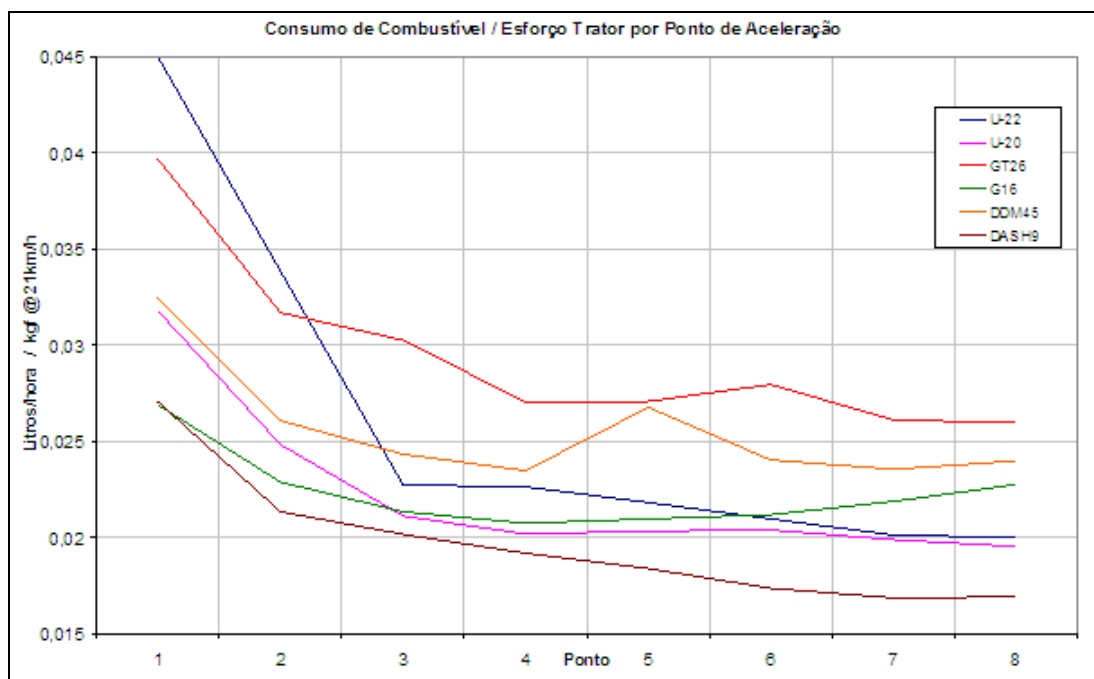
Tabela 3: Consumo específico da locomotiva GE C-30-7

PONTO	R.P.M.	POTÊNCIA BRUTA (HP)	POTÊNCIA CONSUMIDA POR AUXILIARES (HP)	POTÊNCIA NO GERADOR (HP)	CONSUMO (em Kg/h)/HP
8	1050	3337	237	3100	0,152
7	964	2676	186	2490	0,153
6	879	2009	144	1865	0,157
5	879	1619	144	1475	0,161
4	765	1198	98	1100	0,170
3	707	864	79	785	0,174
2	536	464	39	425	0,179
1	450	126	26	100	0,210

Fonte: Roza (1999)

O Gráfico 1 confirma a relação esperada entre consumo (por unidade de tempo e por unidade de potência) e ponto de aceleração, ao ilustrar o mesmo perfil de consumo por outros modelos de locomotivas, neste caso numa situação de velocidade constante e esforço trator variável. Pelo que se pode ver, todos os modelos considerados (U-22, U-20, GT26, G16, DDM45 e DASH9) demonstram ser mais eficientes com o aumento do ponto de aceleração, desde que devidamente aproveitada toda a força inerente ao ponto utilizado, sendo as locomotivas do modelo DASH9 as mais econômicas.

Gráfico 1: Consumo de combustível/Esforço Trator por Ponto de Aceleração



Fonte: Morais (2004)

A relação aqui comentada poderia ser ainda mais enriquecida se fosse aplicada a trens formados, pois, assim, também seria pertinente contemplar o trabalho em conjunto das locomotivas e as peculiaridades em termos de tempo real de percurso.

2.5. A Questão da Eficiência Energética

Uma definição atual e bastante simples da palavra “energia”, e que se aplica, a rigor, a certos tipos de energia, como a mecânica e a elétrica, é “a medida da capacidade de efetuar trabalho”. (SANTOS *et al.*, 2001). Infere-se, portanto, deste conceito, que eficiência energética é a realização de trabalho com o menor consumo de energia possível.

A eficiência energética no ambiente de uma ferrovia, e tratando-se aqui do transporte de carga, diz respeito ao consumo de combustível para transportar certa quantidade de

carga por certa distância. De acordo com informações da Confederação Nacional do Transporte (2008), apesar de ter um custo fixo de implantação e manutenção elevado, o transporte ferroviário apresenta grande eficiência energética, entretanto, representa apenas, no país, cerca de 20% da matriz de cargas e 1,4% da matriz de passageiros, incluindo transporte por metrô e ferroviário.

Segundo dados do Senado Federal (2008), as estradas de ferro apresentam aproximadamente o triplo da eficiência energética do transporte rodoviário. Em 2001, 4,4 litros de óleo diesel movimentavam, em média, por trem, uma tonelada de carga por 653,66 quilômetros, enquanto caminhões truques com capacidade de 15 toneladas, como, por exemplo, um modelo da Mercedes utilizado no Brasil, precisavam de 12,45 litros para transportar o mesmo peso por 653,66 quilômetros, resultando em um desempenho médio de 3,5 quilômetros por litro. Constata-se, portanto, que a eficiência no consumo de combustível é a razão da elevada competitividade dos trens frente aos caminhões. Além da maior eficiência energética, a ferrovia também se mostra mais eficiente no controle da poluição quando comparada à rodovia: um caminhão típico emite aproximadamente três vezes mais óxidos de nitrogênio e particulados que uma locomotiva.

Apesar da alta eficiência do modal ferroviário no consumo de combustível, o gasto com óleo diesel é o principal item de custo variável de uma ferrovia dotada de locomotivas diesel-elétricas, dado o grande volume de cargas transportadas, superando também qualquer item de custo fixo. Logo, uma das metas que todas ferrovias brasileiras buscam é melhorar a eficiência energética, pois este item implica diretamente no preço final do produto para os clientes. Então todo e qualquer projeto que vise reduzir o consumo de combustível normalmente tem uma aceitação boa pela direção da empresa.

A MRS Logística vem conseguindo a cada ano, através de um rígido controle de todo o processo de abastecimento, melhorar sua eficiência energética, que convencionou-se medir, de acordo com a linguagem comum na prática ferroviária, pelo indicador de L/Mtkb (quantidade de litros necessária para transportar mil toneladas brutas de carga pela distância de um quilômetro). A diminuição deste indicador representa aumento de eficiência energética. Seu fechamento em 2007 no valor de 3,288 L/Mtkb foi um marco para a empresa e o resultado de 2008 será ainda melhor, já que recordes consecutivos vêm sendo batidos a cada mês.

Sendo meta comum a muitos setores da empresa, a questão da eficiência energética conta ainda com um projeto interno de grandes proporções, o “Torneio Diesel”, em que participam, entre outros, todos os maquinistas e auxiliares de maquinistas (cerca de mil e trezentos colaboradores), e que tem como objetivo principal a redução do consumo específico de combustível e o conseqüente aumento da eficiência energética da companhia.

Capítulo III

DESCRIÇÃO

O foco deste trabalho será o estudo dos fatores influentes na condução dos trens de minério de exportação da MRS, basicamente através da Ferrovia do Aço, ou seja, com sentido carga-descarga. A atenção será voltada à realidade de determinados trens selecionados e às suas necessidades em termos de variação de velocidade ao longo do trajeto percorrido.

3.1. A MRS Logística

Este trabalho, por se tratar de um estudo de caso, tem como objeto uma empresa. Trata-se de uma companhia do setor de transporte ferroviário de carga: a MRS Logística SA.

De acordo com dados publicados pela própria empresa (2008), a MRS é a concessionária que controla, opera e monitora a Malha Sudeste da antiga Rede Ferroviária Federal SA (RFFSA), interligando os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, região que concentra aproximadamente 65% do produto interno bruto do Brasil. Vencedora do leilão de desestatização da Malha Sudeste da RFFSA em 20 de setembro de 1996, iniciou suas atividades no dia 1 de dezembro de 1996, sendo constituída pelas linhas de bitola larga (1,60 m) das antigas Estrada de Ferro Central do Brasil e Estrada de Ferro Santos a Jundiaí.

Atualmente, as quatro linhas principais sob controle da empresa denominam-se: Linha do Centro, Ferrovia do Aço, Linha de São Paulo e Linha Santos. Pela malha ferroviária da MRS (Figura 6) é possível alcançar, por exemplo, o porto de Santos, o mais importante da América Latina. Além disso, ela se interliga com a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), com a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) e com a América Latina Logística (ALL), oferecendo, com isso, alternativas de transporte para outras regiões do país.

Ao mesmo tempo, porém, para obter sucesso com esse aumento de produtividade, vem buscando soluções de otimização em diversas atividades. Uma delas, por exemplo, é a circulação de trens, sobretudo trens de minério, dada a expansão crescente do mercado mundial de minério (com destaque para a participação em expansão da China no consumo) e da demanda por este tipo de transporte. Outra é o abastecimento/controlado de óleo diesel, que merece destaque por ser a eficiência energética uma meta comum a todas as ferrovias brasileiras dotadas de locomotivas diesel-elétricas, devido ao seu impacto direto nos custos do transporte e no preço final do produto.

3.2. A Ferrovia do Aço

A Figura 7 exibe um trecho da Ferrovia do Aço, onde se pode observar o deslocamento de uma composição de minério da MRS.

Figura 7: Trecho da Ferrovia do Aço



Fonte: www.portogente.com.br (2007)

3.2.1. Aspectos da Construção da Ferrovia do Aço

De acordo com informações obtidas no site Porto Gente: Revista Eletrônica Portuária (2007), a Ferrovia do Aço começou a ser construída em 1973, apesar dos pareceres de técnicos e economistas contrários à sua construção, e a idéia inicial era que fosse eletrificada e ligasse os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Seu principal objetivo era facilitar o abastecimento de minério de ferro para as principais usinas siderúrgicas do Brasil, como a Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, em Cubatão, São Paulo, e a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, em Volta Redonda, Rio de Janeiro.

Uma questão, entretanto, não foi considerada pelas autoridades responsáveis pelo projeto: a região a ser atravessada pela ferrovia era extremamente montanhosa, o que gerou a necessidade de construção de muitos túneis e viadutos. O túnel ferroviário mais comprido do Brasil, inclusive, o chamado “Tunelão”, foi construído na Ferrovia do Aço, na Serra da Mantiqueira, próximo à divisa entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais.

No Brasil os dois principais fatores que incentivaram o uso de locomotivas a vapor articuladas foram as condições geográficas, sobretudo nas regiões Sul e Sudeste e as condições técnicas precárias da maioria da malha ferroviária nacional construída até o início do século XX. O desenvolvimento dos traçados do litoral para o interior, atendendo as necessidades de exportação de matérias primas e produtos agrícolas e a importação de produtos manufaturados, obrigou as ferrovias a atravessar grandes muralhas paralelas à costa atlântica, sendo a serra do Mar e a serra da Mantiqueira as duas mais importantes barreiras que tiveram que ser vencidas logo nos primeiros anos de construção. (COELHO, 2003)

Por falta de planejamento, os recursos federais não foram suficientes para a conclusão da ferrovia, logo, os trabalhos interromperam-se e a parte da via já terminada ficou abandonada durante vários anos. Foi então que, de 1985 a 1987, a antiga RFFSA realizou a sua primeira parceria público-privada (contrato de concessão que se destina a realizar um projeto específico) no trecho Saudade-Jeceaba, que interessava à MBR (Minerações Brasileiras Reunidas SA, atualmente pertencente à VALE, antiga Companhia Vale do Rio Doce) e à CSN, através de emissão de Certificado de Frete Futuro das referidas clientes. Então, em 1989, o carrossel ferroviário começou a funcionar: a carga vinda da região do quadrilátero ferrífero, MG, passava pela Ferrovia do Aço e os vagões vazios retornavam pela Linha do Centro (Belo Horizonte - Barra do Piraí), otimizando dessa forma as exportações de minério de ferro pela RFFSA.

Com a privatização da Malha Sudeste da RFFSA em 1996, a MRS passou a administrar a Ferrovia do Aço, que continua funcionando no mesmo trecho e utilizando somente locomotivas diesel-elétricas, pois o projeto de eletrificação foi abandonado. Todo o trecho é constituído por via (linha) singela.

3.2.2. Fluxo de Transporte Atual através da Ferrovia do Aço

De acordo com dados obtidos na MRS (2008), a Ferrovia do Aço transporta hoje cerca de 70% de toda a sua produção, ou seja, é a linha mais movimentada da empresa. Com uma extensão de quase 370 Km, liga o principal ponto de carregamento de minério operado pela empresa, o terminal de Andaime localizado no pátio de Otávio Dapievi (P1-03/FOO), no município de Itabirito, em Minas Gerais, ao pátio de Saudade (FSE), no município de Barra Mansa, no estado do Rio de Janeiro. É utilizada, principalmente, para o transporte do minério de ferro produzido na região próxima a Belo Horizonte até os portos de Guaíba e Sepetiba, no Rio de Janeiro, e as unidades siderúrgicas da CSN e da COSIPA.

O sentido do fluxo por esta via é do ponto de carregamento ao ponto de descarga. Normalmente é composto por trens carregados de minério, que tem prioridade de tráfego, mas existem também trens de carga geral se deslocando carregados, além de máquinas escoteiras e veículos de serviço. Os trens vazios de minério retornam ao carregamento após percorrerem a Linha do Centro. O ciclo de um vagão carregado no “Andaime”, por exemplo, desde sua saída do ponto de carregamento até o retorno vazio neste mesmo ponto, compreende quase 2,5 dias.

Alguns trens vazios de minério trafegavam em sentido oposto pela Ferrovia do Aço: os que saíam de Volta Redonda (CSN) e Cubatão (COSIPA) retornavam ao ponto de carregamento pelo mesmo caminho percorrido na vinda quando carregados, devido ao menor tempo de percurso. Atualmente, esse fluxo contrário de trens não é mais comumente observado, a não ser em caso de acidentes na Linha do Centro que causem transtorno à volta dos trens aos pontos de carga.

Apenas as máquinas escoteiras, por necessidade do processo, trafegam pela Ferrovia do Aço no sentido oposto ao fluxo de trens carregados: locomotivas de auxílio, normalmente duas, são anexadas, no pátio P1-07 ou pátio de Coronel Guedes (FJC), aos trens carregados, logo estes seguem com mais locomotivas do P1-07 até o pátio P2-06 ou pátio de Bom Jardim de Minas (FOJ), onde é realizada a retirada do auxílio, e a partir de então permanecem com a mesma configuração anterior até o pátio de Barra do Piraí, sendo que as locomotivas extras retiradas em FOJ retornam para o P1-07, após a devida formação da “escoteira”, geralmente com 5 locomotivas. Essa mesma rotina também é observada num trecho menor da Ferrovia do Aço, do terminal de Andaime ao pátio de Lagoa dos Porcos (P1-05/FLO): o auxílio é anexado ao trem no “Andaime” (geralmente 3 locomotivas), uma vez anexadas as máquinas de auxílio, o trem segue até FLO, onde ocorre a desanexação do auxílio, que, por sua vez, dado o encerramento de sua função, retorna ao P1-03.

3.3. O Processo de Transporte do Minério de Ferro

Segundo Landa (2007), o minério de ferro transportado pela MRS é carregado em nove terminais localizados na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, sendo os terminais de Andaime (que fornece cerca de 50% do minério de ferro para exportação transportado pela MRS) e Pires localizados na Frente Norte da Ferrovia do Aço, o terminal de Olhos D'Água (ou TOD) no Ramal de Águas Claras, e Sarzedo, Sarzedo Novo, Souza Noschese, Córrego do Feijão, Alberto Flores e Casa de Pedra no Ramal do Paraopeba.

Os principais destinos de minério de ferro são: CSN (Volta Redonda), COSIPA (Piaçaguera e São Bento), Porto de Sepetiba (porto público explorado pela CPBS – Companhia Portuária Baía de Sepetiba), Porto de Guaíba (de propriedade da VALE), exibido na Figura 8, e terminal portuário CSN Tecar. Existem ainda outros destinos com menor volume de transporte mensal, tais como Belgo, em Juiz de Fora - MG, e Açominas e Patrag, em Ouro Branco - MG.

Figura 8: Porto de Guaíba



Fonte: www.mrs.com.br (2008)

Atualmente, o destino de carregamento de cada trem é decidido quando o mesmo passa pelo pátio FPK (posto Km 460), localizado na cidade de Conselheiro Lafaiete, MG, ou pelo pátio FDM (Joaquim Murtinho), em Congonhas do Campo, MG, no caso dos trens da Açominas e do Patrag. Os tipos de minério normalmente transportados são: “PFF” ou *pellet feed*, mais fino, “SF” ou *sinter feed*, tipo mais comum, e granulado.

Os trens de minério trafegam em ciclos e com tabelas de vagões bem definidas, sendo que, em média, cerca de 28 deles percorrem a Ferrovia do Aço por dia, já que tem prioridade de tráfego.

3.3.1. Variáveis Envolvidas no Processo

A dinâmica do transporte de minério (trens carregados) conta com certas variáveis que influenciam diretamente no desempenho do sistema como um todo, sobretudo no que diz respeito ao consumo de combustível. Quase todos os fatores/indicadores do cenário podem variar; os principais são:

- O perfil da malha (presença de rampas e curvas);
- O esforço trator demandado pra cada situação;
- As potências das locomotivas;
- As combinações de tração;
- As velocidades adotadas;
- As velocidades máximas autorizadas;
- As opções de condução dos maquinistas;
- O tempo de percurso (*transit time*);
- O tempo entre trens sucessivos (*headway*);
- O tempo de fila;
- O número de cruzamentos (diretamente relacionado ao número de máquinas escoteiras);
- A aderência dos trilhos e;
- O consumo de combustível, que depende de todas as demais variáveis.

3.3.2. Trens de Minério de Exportação da MRS

Os trens de minério de exportação são aqueles que se destinam aos portos. A maior exportadora de minério da região, a VALE, é a maior cliente da MRS, e também a sua maior acionista. A CSN também exporta minério utilizando os serviços de transporte da MRS. Existem ainda alguns outros clientes menores. Frequentemente, a VALE, por força de contrato público de concessão, deve ceder espaço em seu porto (até 15%) para a descarga tanto da CSN, quanto de outros clientes menores da MRS. Além disso, devido a certos acontecimentos do cotidiano, os próprios trens que transportam minério para a VALE, muitas vezes, têm seu destino alterado do Porto de Sepetiba para o Porto de Guaíba ou vice-versa.

Tais trens são longos, trafegam com tabelas de 132 vagões e são tracionados, na maior parte do tempo, por 3 locomotivas, sendo que, quando necessário, 2, 3 ou até mesmo 4 locomotivas de auxílio são a eles anexadas. Isto porque além dos trechos da Ferrovia do Aço que demandam reforço de tração existe ainda um outro trecho na Linha do Centro,

percorrido por tais trens antes da chegada nos terminais de descarga, onde a anexação de auxílio também se faz necessária: do pátio de Barra do Pirai (FBP) até o pátio de Humberto Antunes (FHA).

Os trens de minério de exportação cujo trajeto será considerado para análise neste trabalho serão aqueles que transportam para a VALE com carregamento no terminal de Andaime e descarga no Porto de Guaíba, localizado na ilha de Guaíba, na Baía de Sepetiba, estado do Rio de Janeiro, que tem capacidade para embarcar 25 milhões toneladas/ano e cujo único acesso é através da MRS.

Várias combinações de locomotivas podem ser utilizadas para movimentar os trens de minério de exportação, mas existem certas combinações mais adequadas em termos de força e da velocidade necessária ao transporte, é o que se chama de tração ideal, como se pode ver nas tabelas 4 e 5:

Tabela 4: Relação do Esforço Trator e da Velocidade por modelo de locomotiva

Grupo	Tipo	Frota	Frota		Esforço Trator	Velocidade
			Exist.	Ativa		
1	GE-C44-EMI	A	39	39	49546	17,2
2	GE-C30-S7	A	7	7	40969	17,4
2	GE-C30-8	A	16	16	40969	17,4
2	GE-U30C	A	2	2	40969	17,4
2	GE-C30-7MP	A	19	19	40969	17,4
2	GE-C36-S7	A	2	2	40969	19,2
2	GE-C36-E	A	27	27	40969	19,2
2	GE-C36-ME	A	41	41	41019	19,3
2	GE-C36-7	A	19	19	40969	19,2
2	GE-SF30-C	A	10	10	40969	17,4
2	GM-SD40/3	A	14	14	40969	17,1
3	GE-U23-CA	A	28	28	40969	14,0
3	GE-C26-7MP	A	22	22	40969	14,0
3	GM-SD40/2	A	36	35	35848	19,2
3	GE-C30-MEX	A	35	34	32805	20,5
4	GE-U23C	A	72	63	30954	15,9
4	GE-U23-CE	A	10	9	30954	15,9

Fonte: MRS (2008). Modificada pela autora.

As locomotivas da MRS indicadas para tracionar os trens de minério de exportação são aquelas da Frota A, ou seja, as dotadas de maior capacidade de tração. Entre as listadas, as do modelo GE-C44-EMI são as mais fortes, sendo capazes de tracionar até 49.546 toneladas de carga. Convém, aqui, informar que, na relação citada, o Esforço Trator foi medido em toneladas e a Velocidade de regime em quilômetros por hora.

Tabela 5: Algumas possíveis combinações de locomotivas

Primeiro Grupo				
Tração Fixa		Auxílio	Total	Peso
1	2	2	5	3,0
		2	5	1,0
2	1	2	5	2,0
		2	5	0,5
3		2	5	4,0
		2	5	3,0

Fonte: MRS (2008)

As melhores combinações de locomotivas para o transporte de minério de ferro para exportação são as que reúnem, na tração fixa, exemplares dos modelos pertencentes aos grupos 1 e 2, sendo que 3 locomotivas do Grupo 2 já são suficientes pra tanto. Além disso, no deslocamento entre o pátio P1-07 e o pátio P2-06, por exemplo, também é recomendado que as locomotivas de auxílio pertençam a estes grupos e que sejam formados pares de auxílio com locomotivas do mesmo grupo.

3.4. O Problema da Velocidade dos Trens

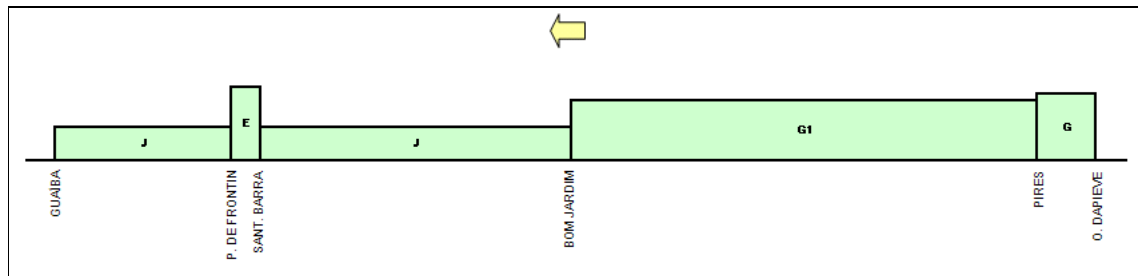
A velocidade dos trens, como visto, é uma das variáveis observadas no processo aqui considerado de transporte do minério de ferro no sentido descarga e influencia diretamente no consumo de combustível. Variar a velocidade de um trem, para mais ou para menos, não é tão simples como se imagina. O próprio mecanismo de funcionamento de uma locomotiva é um sistema bastante complexo. Tecnicamente falando, a velocidade de deslocamento de uma locomotiva depende da rotação dos motores de tração, do diâmetro das rodas e também da relação da engrenagem, sendo que o esforço trator nas rodas da locomotiva, assim como a aderência dos trilhos, decresce à medida que sua velocidade aumenta.

A performance dos trens de minério de exportação ao longo da Ferrovia do Aço está sujeita a significativas restrições, que coordenam sua dinâmica de variação de velocidade. A principal restrição é o próprio perfil topográfico da malha, que implica diretamente nas necessidades de esforço das locomotivas, demandando certas velocidades, que, por sua vez, em muitos casos, podem e devem ser obtidas simplesmente através do aproveitamento da inércia. A Figura 9 exibe o perfil topográfico de um trecho da malha da MRS, onde se

destaca a Ferrovia do Aço, e a Tabela 6 traz a legenda para os seus códigos, apresentando a faixa de inclinação de rampa inerente a cada perfil.

Embora o esforço trator na estrada de ferro seja menor que o da estrada de rodagem para uma dada rampa em questão, sabe-se que o esforço trator necessário na ferrovia cresce mais depressa do que na estrada de rodagem, quando cresce a rampa.

Figura 9: Perfil de tração Ferrovia do Aço



Fonte: MRS (2008). Modificada pela autora.

Onde:

Tabela 6: Significados de cada perfil de rampa

PERFIL	RAMPA	
A	2,20	2,47
B	2,00	2,20
C	1,79	2,00
D	1,55	1,79
E	1,41	1,55
F	1,19	1,41
G	1,06	1,19
G1 / GG	0,98	1,06
H	0,89	0,98
I	0,71	0,89
J	0,50	0,71
J1 / JJ	0,00	0,50

Fonte: MRS (2008)

Um maquinista também não pode variar deliberadamente a velocidade de um trem, pois sempre é preciso considerar a existência de trens à frente, a existência de trens atrás esperando um certo distanciamento para darem partida e a possibilidade de cruzamento com máquinas escoteiras.

Outra restrição importante está relacionada aos destinos dos trens de minério de exportação, ou seja, aos pontos de descarga, aqui sendo considerados os portos: no Porto de Guaíba existem 2 viradores de vagões, no Porto de Sepetiba, 1 virador, e no terminal portuário CSN Tecar, também apenas 1 virador. Os viradores, além de passarem por

manutenção constantemente, são equipamentos altamente propensos a avarias, devido ao grande número de movimentos de rotação que realizam (aproximadamente 1 rotação a cada 1,5 minutos). Essa capacidade de descarga dos portos muitas vezes inferior à oferta de trens carregados acaba por originar filas freqüentes, que estimulam ou deveriam estimular a variação de velocidade dos trens a caminho deles.

Existem ainda outras restrições, tais como: o próprio peso do trem, o número de locomotivas empregadas na tração, as velocidades máximas autorizadas por trecho (Tabela 7), o estado de manutenção da via permanente, a existência de licença de passagem restritiva ou condicional de velocidade, etc..

Tabela 7: VMA – Velocidades Máximas Autorizadas na Ferrovia do Aço

FERROVIA DO AÇO		
LINHAS	TREM	
	CARREGADO	VAZIO
P1-7 – Andaime	60 km/h	60 km/h
Bom Jardim – P1-7	50 km/h	70 km/h
Saudade – Bom Jardim	40 km/h	60 km/h

Fonte: MRS (2008)

Cabe ressaltar que a máxima velocidade permitida por trecho não pode ser executada ao longo de todo o trajeto. Existem certas restrições locais que devem ser respeitadas, como, por exemplo, limites de velocidade em trechos urbanos.

Dada a existência de tantas restrições à variação de velocidade, qualquer procedimento nesse sentido, tanto por parte dos maquinistas, quanto por parte da administração da empresa, deve ser criterioso e passar por um estudo detalhado de todo o processo. As melhores escolhas devem ser aquelas que possam trazer maiores benefícios para a empresa, tanto em termos de lucro, quanto em termos de outros fatores, como segurança e meio ambiente, por exemplo.

Além disso, é importante lembrar que a variação de velocidade tem relação direta com o consumo de combustível. Dependendo do perfil de via a ser enfrentado pelo trem e da opção de aceleração do maquinista, dadas as demais restrições do sistema, o consumo pode ser maior ou menor. Sabe-se que as maiores exigências em termos de esforço trator e consumo de combustível de um trem se dão nas rampas e nas partidas (arranques).

3.5. Proposta de Estudo e Melhoria das Características Atuais do Processo

A proposta deste trabalho é estudar as características do processo de transporte do minério de ferro para exportação, no que diz respeito aos fatores influentes nas decisões em termos de condução, com foco no deslocamento espacial dos trens selecionados para estudo, para que, então, possa ser testada a viabilidade de aplicação de um procedimento de condução econômica, já elaborado na empresa, como respaldo para a criação de um sistema de apoio à decisão, capaz de controlar a velocidade dos trens da MRS e validar a possibilidade de sua variação.

Para tanto, pretende-se lançar mão da técnica de mapeamento de processo para a confecção de um cenário bem realista do transporte atual na região escolhida, com foco na Ferrovia do Aço. O enfoque será dado ao trecho P1-07 – Saudade (FSE), da Ferrovia do Aço, e também, para fins de análise, aos trechos Saudade – Barra do Piraí (FBP), na Linha de São Paulo, e Barra do Piraí – Guaíba (FGI), dado o destino final dos trens em questão, sobretudo para que possa ser observada a dinâmica da formação de filas de trens.

Após estudadas as características do processo e identificados os pontos críticos e as oportunidades de melhoria no que diz respeito à possibilidade de variação de velocidade para se economizar combustível, será detalhado o procedimento de condução econômica em questão e os seus resultados, obtidos através da prática de suas sugestões básicas, e apresentado um exemplo no qual tal condução poderia ser utilizada, dadas as restrições do sistema e a realidade do processo. Tal exemplo irá contar com os gráficos de saída de um sistema da MRS de acompanhamento da circulação em tempo real, o SISLOG – Sistema Logístico, e partirá do princípio de existência de fila na descarga como estímulo à redução de velocidade.

Por fim, como uma síntese de todo o estudo realizado, serão indicadas as especificações necessárias para o desenvolvimento de um sistema com a habilidade de colocar em prática tal procedimento de condução econômica, após o devido treinamento dos controladores de tráfego (despachadores e analistas) do CCO – Centro de Controle Operacional – e dos maquinistas e seus auxiliares, ponderando as necessidades e políticas da companhia.

Capítulo IV

ESTUDO DO CASO

4.1. Mapeamento do Processo

Os trens de minério de exportação carregados da MRS enfrentam, ao longo de seu deslocamento sentido carga-descarga, trechos da malha ferroviária com diferentes características, que, por isso, demandam variados esforços e velocidades de percurso e, conseqüentemente, diversas taxas de consumo de combustível. Apesar do foco deste trabalho ser a Ferrovia do Aço, para um entendimento completo de todo o transporte considerado, desde a carga até a descarga, aqui se faz necessário detalhar todo o trajeto, que inclui pontos além das extremidades desta ferrovia. Em linhas gerais, pode-se estruturar o processo de transporte do minério para exportação, com destino aos portos selecionados para análise, através da divisão do trajeto percorrido pelos trens em questão em função de cada trecho peculiar entre duas paradas sucessivas, como nas tabelas a seguir (8, 9, 10 e 11), baseadas em informações oficiais da MRS de 2008.

Sendo assim, o primeiro trecho considerado refere-se ao deslocamento do ponto de carga a FJC, já que o pátio P1-07, em razão da quantidade de atividades ali realizadas (entre elas, anexação de auxílio e abastecimento de óleo diesel), é parada obrigatória para os trens carregados de minério. Dado que o segmento principal do processo é a Ferrovia do Aço, o terminal de Andaime, situado na Frente Norte da Ferrovia do Aço, foi selecionado como exemplo de ponto de carga.

1- Do ponto de carga ao pátio P1-07

Tabela 8: Trajeto percorrido do terminal de Andaime ao P1-07

Perfil de tração	G do “Andaime” ao “Pires” (FPY) e G1 do “Pires” ao P1-07
Distância total	61 Km
Tempo padrão de percurso	4:00 h
VMA (trem carregado)	60 Km/h
Velocidade média	13,47 Km/h
Consumo padrão (GE-C36)	2.736,90 litros de óleo diesel
Locomotivas comuns	Frota A, exceto GE-U23-CA, GE-U26-CA, GE-U23C e GE-C30-MEX
Necessidade de auxílio	3 locomotivas de auxílio do “Andaime” à “Lagoa dos Porcos” (P1-05)

Fonte: Autora (2008)

O trecho da Ferrovia do Aço correspondente ao trajeto entre o pátio P1-07 e o pátio de Bom Jardim (P2-06) é a maior distância percorrida na malha da MRS com necessidade contínua de auxílio. É neste trecho que é percebido o fluxo intenso de retorno das máquinas de auxílio nas chamadas “escoteiras”, a partir de FOJ com destino a FJC.

2- Do pátio P1-07 ao pátio P2-06

Tabela 9: Trajeto percorrido do P1-07 ao P2-06

Perfil de tração	G1 ao longo de todo o trajeto
Distância total	194 Km
Tempo padrão de percurso	6:30 h
VMA (trem carregado)	50 Km/h
Velocidade média	28,94 Km/h
Consumo padrão (GE-C36)	8.714,20 litros de óleo diesel
Locomotivas comuns	Frota A, exceto GE-U23-CA, GE-U26-CA, GE-U23C e GE-C30-MEX
Necessidade de auxílio	2 locomotivas de auxílio durante todo o trajeto

Fonte: Autora (2008)

Do pátio de Bom Jardim até o pátio de Barra do Piraí (FBP), passando-se, assim, por um pequeno segmento da Linha de São Paulo e chegando-se a um ponto estratégico da

Linha do Centro, os trens de minério para exportação trafegam sem o reforço de auxílios. Inclusive, dada a facilidade de tração, a terceira locomotiva segue desligada a partir do pátio de Saudade.

3- Do pátio P2-06 ao pátio de Barra do Pirai

Tabela 10: Trajeto percorrido do P2-06 a Barra do Pirai

Perfil de tração	J ao longo de todo o trajeto
Distância total	149 Km
Tempo padrão de percurso	5:20 h
VMA (trem carregado)	40 Km/h
Velocidade média	29,27 Km/h
Consumo padrão (GE-C36)	836,80 litros de óleo diesel
Locomotivas comuns	Frota A, exceto GE-U23-CA, GE-U26-CA, GE-U23C e GE-C30-MEX
Necessidade de auxílio	-

Fonte: Autora (2008)

Em Barra do Pirai (mais especificamente no pátio de Vargem Grande, Km 106), novamente, auxílios são anexados aos trens em questão. Desta vez, um número maior de máquinas de auxílio se faz necessário em virtude da serra subsequente (até o pátio de Humberto Antunes - FHA), que apresenta uma inclinação de perfil de rampa bastante acentuada. Além disso, a partir de então, a terceira locomotiva é religada e permanece tracionando até o Km 64, quando então é outra vez desligada.

Como já dito, os trens com o deslocamento selecionado para análise neste trabalho são aqueles que transportam para a VALE com descarga no Porto de Guaíba, logo este porto foi empregado aqui como ponto de descarga.

4- Do pátio de Barra do Pirai ao ponto de descarga

Tabela 11: Trajeto percorrido de Barra do Pirai ao Porto de Guaíba

Perfil de tração	J de “Barra do Pirai” a “Santana de Barra” (FSB), E de “Santana de Barra” a “Engenheiro Paulo de Frontin” (FER) e J de “Engenheiro Paulo de Frontin” a “Guaíba” (FGI)
Distância total	109 Km
Tempo padrão de percurso	5:45 h
VMA (trem carregado)	40 Km/h de “Barra do Pirai” a “Humberto Antunes” (FHA), 30 Km/h de “Humberto Antunes” ao Km 64, 40 Km/h do Km 64 a “Itacuruçá” (FIS), 25 Km/h de “Itacuruçá” ao Km 0,3 e 15 Km/h do Km 0,3 à Ponte de Guaíba
Velocidade média	19,51 Km/h
Consumo padrão (GE-C36)	2.564,00 litros de óleo diesel
Locomotivas comuns	Frota A, exceto GE-U23-CA, GE-U26-CA, GE-U23C e GE-C30-MEX
Necessidade de auxílio	4 locomotivas de auxílio (GE-U23-CA ou GE-C26-7MP) de “Barra do Pirai” a “Humberto Antunes”

Fonte: Autora (2008)

O tempo total de percurso de um trem de minério de exportação da VALE carregado no “Andaime” e descarregado no Porto de Guaíba, considerando-se neste total também os tempos de parada nos pátios para atividades inerentes ao processo, mas sem considerar qualquer outro acréscimo de tempo em virtude de outros fatores influentes, é de cerca de 24 horas. A distância total percorrida por ele é de aproximadamente 513 Km e o consumo total de combustível, pressupondo-se uma circulação ininterrupta (sem qualquer parada) é de 14.851,90 litros.

A partir do detalhamento do processo, pode-se perceber que o trajeto total considerado, da carga à descarga, é bastante heterogêneo, com trechos onde a circulação ocorre com facilidade e sem restrições velocidade, trechos onde, apesar da facilidade de circulação, existem restrições de velocidade (segmentos urbanos, por exemplo), trechos onde a circulação exige reforço de tração, mas sem restrições de velocidade e trechos mais críticos com dificuldade de circulação e restrições de velocidade. Nota-se, portanto, que, de acordo com as variáveis do processo, a possibilidade de economia de combustível existe apenas em certas distâncias percorridas e pode demandar em cada caso variações de velocidade para mais ou para menos.

4.2. O Procedimento de Condução Econômica e seus Resultados

A condução econômica é a condução voltada para o consumo eficiente de combustível. Não prega apenas a redução de velocidade dos trens, mas a combinação produtiva de alguns fatores (velocidade, perfil da malha, ponto de aceleração e esforço trator), que resulta em economia de óleo diesel. Sua importância está no fato de a conta de combustível da MRS ser a maior da empresa (mais de 30% dos custos mensais são compostos pelo valor destinado à compra de óleo diesel), o que significa que qualquer mínima economia nesse sentido representa um expressivo montante.

Arrancadas violentas, marcha lenta desnecessária, uso incorreto dos freios, excesso de velocidade, passagens por rampas e paradas constantes são alguns dos itens que causam consumo excessivo de combustível, portanto, são eles que, na medida do possível, devem ser evitados.

Conduzir “economicamente” é operar o trem da forma correta e com consciência de que certas decisões são melhores que outras. O consumo de combustível é determinado pela ação do condutor, auxiliado pelo CCO, com relação às situações operacionais e de trânsito em cada momento, ou seja, é fortemente influenciado pelo fator humano. Dada a existência de fila no terminal de descarga, por exemplo, situação esta que pode ser prevista com certa antecedência pelos controladores do CCO, e dado o cenário de tráfego da ferrovia, pode não haver necessidade de se correr com o trem adotando-se uma velocidade maior que a demandada pelas variações de traçado da malha. Ainda assim, neste caso, o tempo de ciclo permanece o mesmo.

Com foco na redução do consumo de combustível e na melhoria da eficiência energética da MRS, foi desenvolvido, pela equipe da Engenharia de Operações da empresa, um procedimento de condução econômica. Trata-se do passo-a-passo operacional com todo o detalhamento necessário para ser entendido e praticado pelos maquinistas dos trens carregados de minério para exportação dos pontos de carga a Barra do Piraí. Tem como objetivos principais a padronização da execução das tarefas de condução e a economia de combustível.

Suas recomendações básicas são:

- Acelerações e desacelerações gradativas;
- Aproveitamento da ação da gravidade;
- Sincronização entre as locomotivas tanto da “cabeça” quanto da “cauda” do trem;
- Desligamento da terceira locomotiva quando sua força de tração não for necessária;
- Desligamento de todas as locomotivas da composição nas paradas quando houver previsão de parada por mais de 30 minutos;
- Adequação da condução às exigências em termos de perfil de rampa;

- Utilização do Sistema de Aceleração Independente (SAI);
- Redução da velocidade do trem quando o perfil de tração for favorável à circulação, não havendo urgência de atendimento ao cliente ou dada a existência de fila.

Os resultados obtidos através de simulações e do teste em campo da condução econômica em parte do ciclo dos trens de minério de exportação comprovaram que, quando respeitadas as recomendações propostas, a economia de óleo diesel é bastante significativa ao passo que o acréscimo de tempo no percurso é mínimo, como na Tabela 12:

Tabela 12: Resultados da condução comum X Resultados da condução econômica

ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA (em Km)	CONSUMO PADRÃO (em litros)	CONSUMO ECON. (em litros)	TEMPO PADRÃO (em horas)	TEMPO ECON. (em horas)	ECONOMIA (em litros)
P1-07	P2-06	194	8.714,2	8.451,7	05:02:28	05:12:37	262,5
P2-06	Saudade	100	335,7	161,7	03:05:29	03:15:29	174,0
Saudade	Barra	49	501,1	452,8	01:31:47	01:46:15	48,3
Total		343	9.551,0	9.066,2	09:39:44	10:14:21	484,8

Fonte: MRS (2008). Modificada pela autora.

O foco das simulações, em virtude da possibilidade de aplicação efetiva da condução econômica, foi dado a partir do pátio P1-07, localizado estrategicamente, até o pátio de Barra do Piraí, a partir de onde, por razões de perfil de rampa, tal condução não mais traz resultados. Cabe ressaltar que nesta comparação com relação à condução comum, tanto os consumos (padrão e econômico) quanto os tempos (padrão e econômico) foram contabilizados sob a premissa de movimentação do trem em circulação contínua, ou seja, sem considerar as paradas ao longo do trajeto. A mesma consideração foi adotada no cálculo das velocidades médias (Tabela 13) à título de comparação.

Tabela 13: Velocidade Média comum X Velocidade Média econômica

ORIGEM	DESTINO	V Média PADRÃO	V Média ECON.
P1-07	P2-06	38,48 Km/h	37,23 Km/h
P2-06	Saudade	32,35 Km/h	30,69 Km/h
Saudade	Barra	32,03 Km/h	27,67 Km/h

Fonte: MRS (2008). Modificada pela autora.

No percurso total, do pátio P1-07 ao pátio de Barra do Piraí, o tempo de circulação plena obtido com a condução econômica foi 5,97% maior que o da condução comum (cerca

de 35 minutos a mais) e o consumo de combustível foi 5,08% menor, o que representou uma economia de quase 500 litros de óleo diesel. Este valor quando visto isoladamente pode até parecer desprezível, mas se forem considerados todos os trens potenciais da companhia e as oportunidades diárias de aplicação da condução econômica, percebe-se uma possibilidade de grande melhoria de eficiência energética e corte de custos.

O trecho P1-07/ P2-06, apesar de classificado com o perfil G1 (inclinação aproximada de 1%), não apresenta tal inclinação em todos os pontos, já que a classificação de perfil de rampa de cada segmento se dá em função da maior inclinação nele observada. Estima-se que em cerca de dois terços deste trecho seja necessária a tração de apenas duas locomotivas, apesar de o trem de minério trafegar por ali com cinco locomotivas tracionando.

Conforme o mapa de perfil da via obtido através do simulador de condução de trens da MRS em 2007, do Km 287,7 ao Km 281,6, ou do Km 248,7 ao Km 240,4, ou do Km 172,6 ao Km 167,9, por exemplo, o perfil de rampa é descendente. Já do Km 276,8 ao Km 264,1, ou do Km 231,5 ao Km 225,2, ou do Km 147,9 ao Km 135,7, é praticamente em nível. Logo, nestes sub-trechos, dependendo das prioridades de circulação e das demais condições para tráfego, o maquinista do trem pode optar por conduzi-lo de forma mais econômica, seja reduzindo sua velocidade, ou a mantendo, porém com uma locomotiva desligada. Inclusive nos segmentos com rampa ascendente ainda é possível economizar óleo diesel através, por exemplo, da utilização do SAI, já que muitas vezes, mesmo nas subidas, o trem é capaz de atingir a VMA sem a aceleração de todas as locomotivas da composição ao máximo, ou seja, com as locomotivas sendo aceleradas em diferentes pontos de aceleração ou ainda com uma delas operando em vazio (“marcha lenta”).

O trechos P2-06/ Saudade e Saudade/ Barra apresentam conjuntamente perfil J, já que a maior inclinação observada é de cerca de 0,5% nas proximidades do pátio Inferno Verde (FIV), região de Volta Redonda. Ao longo de todo o sub-trecho de P2-06 a Saudade, o perfil de rampa é descendente, sendo assim, existe a opção para o maquinista, dependendo novamente da situação momentânea de circulação na malha, de desligar uma locomotiva por toda esta distância percorrida, mantendo, assim, uma velocidade menor, mas que proporciona a mesma eficiência de freio dinâmico. Isto porque, com a velocidade reduzida, cada locomotiva é capaz de frear uma tonelagem maior, ou seja, com menos potência sendo transformada em velocidade há mais potência útil a ser utilizada sob a forma de força.

No sub-trecho Saudade/ Barra, o perfil é em nível praticamente durante todo o trajeto. Inclusive o procedimento padrão de condução já inclui o desligamento da terceira locomotiva neste segmento. Mas mesmo ali também existe a possibilidade de economia de combustível através, por exemplo, de redução de velocidade das duas locomotivas, quando

possível, de maior sincronia entre elas ou de utilização do SAI, sobretudo considerando-se a possibilidade de congestionamentos de trens nos próximos trechos em função da descarga.

Alguns outros estudos sobre a questão da economia de combustível ainda estão sendo realizados pela Engenharia, não apenas sobre os aspectos de condução, mas também com relação a outros fatores, como a combinação de locomotivas dos trens e o aproveitamento de sua capacidade em termos de lotação, por exemplo. Cabe ressaltar que quando se fala em condução econômica, se fala da aplicação do procedimento não apenas a um trem específico, mas a todos os trens de cada cenário.

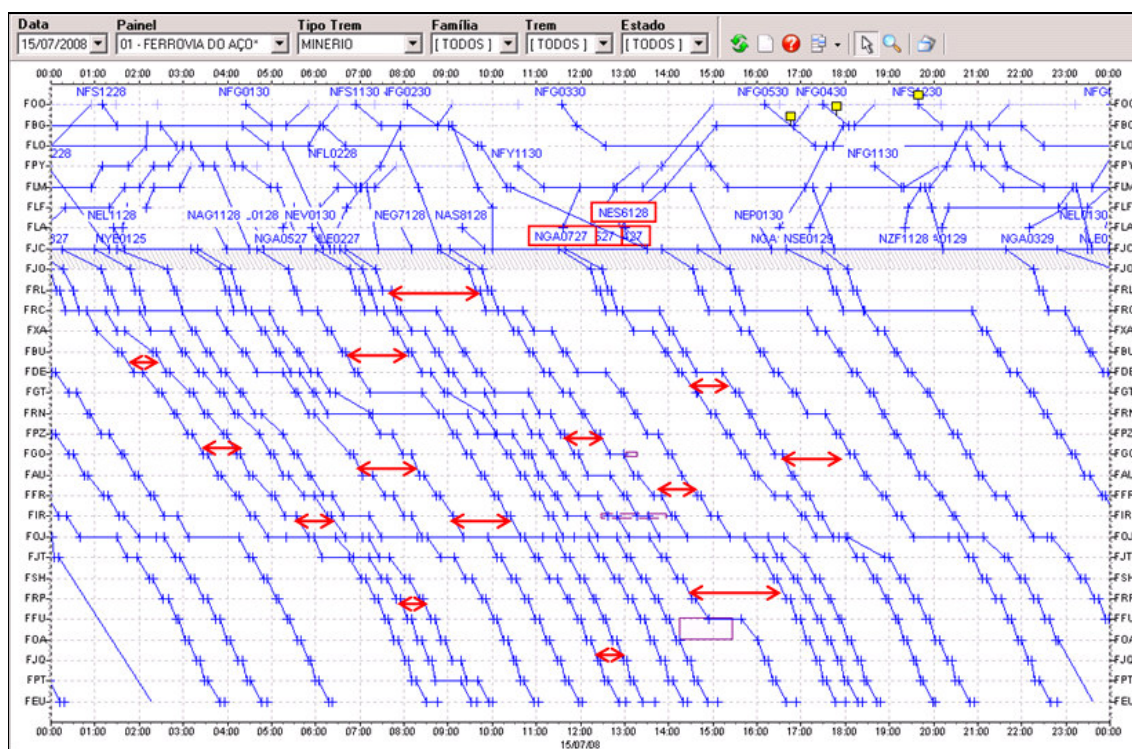
4.3. Exemplo de Aplicação da Condução Econômica

Através do histórico de circulação da MRS, disponibilizado no Gráfico Horário de Trens (GHT) pelo SISLOG (2008), é possível identificar situações do dia-a-dia em que a condução econômica poderia ser aplicada. Isto porque muitas são as ocorrências que permitem a previsão de paradas do trem e até mesmo do tempo em que este ficará parado: falta de locomotivas de auxílio, falta de equipagem (maquinista e auxiliar de maquinista) e preferências na circulação são alguns acontecimentos comuns e que podem acabar originando filas.

Na descarga em especial, ao longo dos últimos anos, as filas são mais típicas em razão das políticas adotadas pelo CCO, que pregam, entre outros objetivos, a redução máxima do *transit time* e a concentração nas proximidades dos terminais como tentativa de estimular a agilidade nas descargas.

O cenário de circulação dos trens de minério do dia 15 de Julho de 2008 é um exemplo de possibilidade de aplicação da condução econômica. Como se pode ver no Gráfico 3, mais claramente a partir de FJC (P1-07) até o pátio de Engenheiro Taulois (FEU/P2-14), o espaçamento médio entre os trens em questão ao longo da Ferrovia do Aço neste dia é de cerca de 1 hora.

Gráfico 3: Espaçamento médio de tempo entre os trens de minério no dia 15/07/2008 na Ferrovia do Aço



Fonte: MRS (2008). Modificado pela autora.

O Gráfico 4 exibe a circulação do pátio de Pombal (FPB) até “Guaíba” no dia 15 de Julho, sendo tal trecho correspondente ao painel de observação do CCO chamado de “Barra do Pirai”.



A partir do pátio de Saudade até o de Barra do Piraí, a média de tempo entre os trens é de aproximadamente 50 minutos e de FBP a FGI (Porto de Guaiúba) é de cerca de 1 hora novamente. Isto porque o pátio de Barra do Piraí, por estar localizado em um ponto estratégico da malha (Figura 10), de ligação entre diferentes linhas, acaba por “amortecer” a chegada dos trens e distribuí-los com maior folga.

Figura 10: Posição estratégica do pátio de Barra do Pirai



As paradas mais freqüentes ao longo de todo o deslocamento carga-descarga neste dia, como já se observa normalmente, ocorrem nos pátios: FJC, FRC (Resende Costa), FOJ, FBP e FOS (Santa Rosa), onde o abastecimento de óleo diesel é freqüente. Percebe-se também que, de um modo geral, o espaçamento de tempo entre os trens é bastante irregular, com alguns trens se deslocando com uma diferença de tempo média de 20 a 30 minutos e outros com uma de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

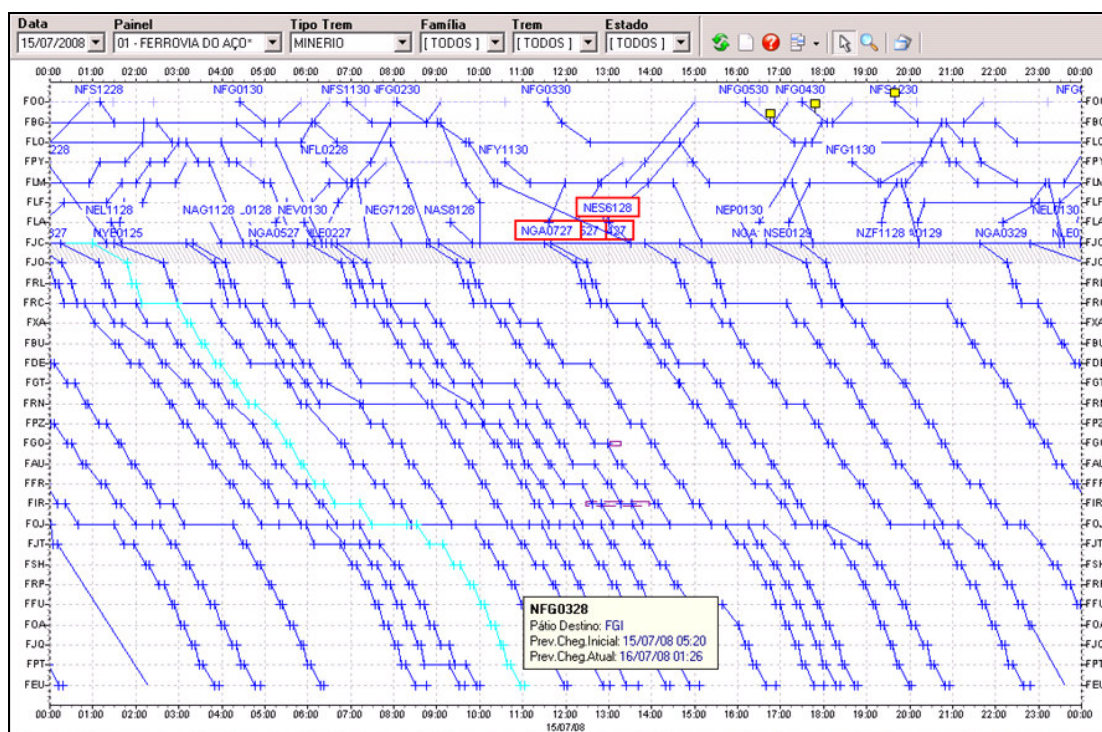
Apesar de estar plotada, ao longo dos trechos FGI/ FBP e FJC/ FOO, a circulação de retorno dos trens vazios de minério, cabe ressaltar que nesta análise os cruzamentos não estão sendo contemplados, uma vez que apenas os trens de minério de exportação direcionados à descarga foram selecionados para estudo. Inclusive, também em razão desta seleção, os trens W, de retorno das máquinas de auxílio (“escoteiras”), nem sequer foram plotados nos trechos onde ocorrem: de FHA a FBP, de FOJ a FJC e de FLO a FOO, assim como também não foram os trens de carga geral, em ambos os sentidos (carregados ou vazios), dada a sua menor quantidade diária e a sua rara preferência frente aos trens de minério.

Percorrendo a Ferrovia do Aço com destino ao Porto de Guaíba, existem no cenário os trens de minério: NFG 0228, NFG 0328, NAG 1128, NFG 0428, NFG 0528, NEG 7128 e NFG 0130, único deles com saída do ponto de carga no dia 15 mesmo. Destes, os trens NFG 0228 e NAG 1128 chegam ao destino final ainda no dia 15, depois de esperarem em fila no “SAI” (FSS), pátio antecessor do porto em questão, respectivamente, 1 hora e 55 minutos e 2 horas. Os outros chegam no dia 16, sendo que o trem NFG 0528, em função do congestionamento observado, a partir de, aproximadamente, às 18:00 horas do dia 15, acaba sendo desviado para o Porto de Sepetiba. Por sua vez, o trem NFS 1128, com destino, inicialmente, ao Porto de Sepetiba, em razão da ociosidade percebida no Porto de Guaíba por volta das 16:00 horas do dia 15, acaba sendo desviado para este porto. Os demais trens de minério para exportação do dia destinam-se ou ao Porto de Sepetiba ou ao terminal portuário CSN Tecar.

Convém lembrar que, segundo as convenções adotadas pela MRS Logística, o código dos trens é composto por 3 letras e 4 números. Os significados são: 1º letra = mercadoria; 2º letra = local de origem do trem; 3º letra = local de destino do trem; 1º número = se o trem é programado ou não; 2º número = número seqüencial do trem; 3º e 4º números = data x 2. Os trens da família do minério são representados pela letra N. Exemplo: NFY 0126 = trem de minério, origem F, destino Y, trem programado, 1º trem do dia, dia 13.

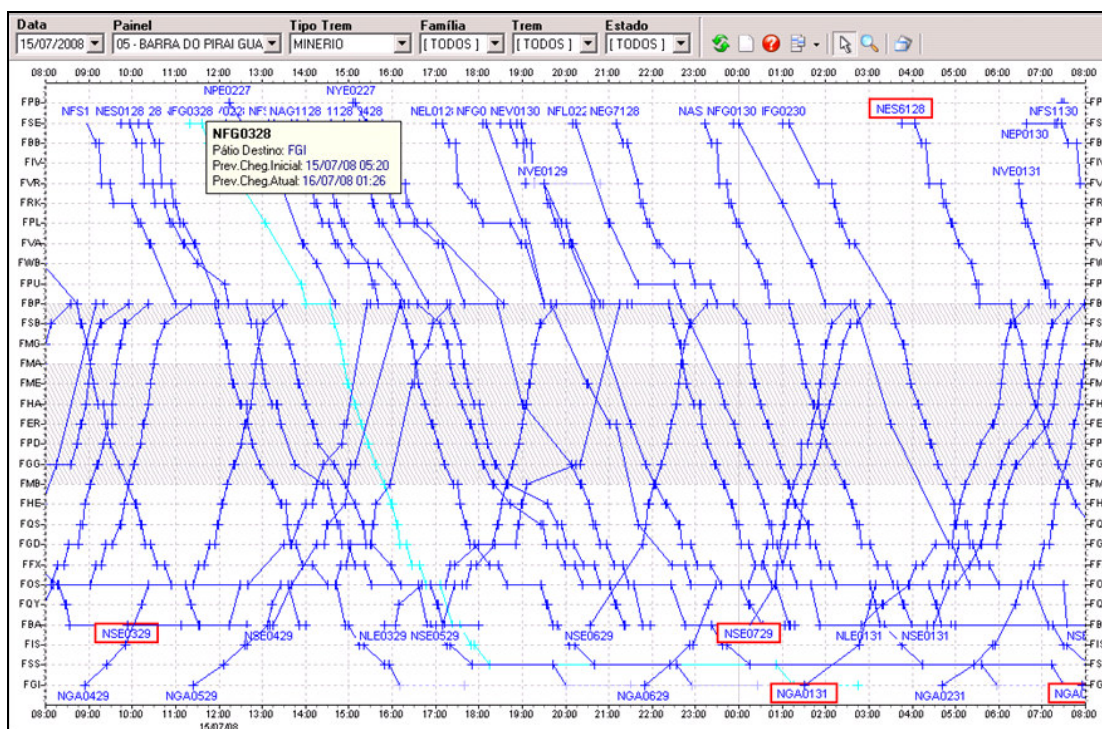
Escolhendo-se o trem NFG 0328 (terceiro trem carregado no “Andaime” no dia 14 de Julho com destino ao Porto de Guaíba), destacado nos gráficos 5 e 6, para verificação da possibilidade de aplicação da condução econômica, chegou-se aos resultados a seguir.

Gráfico 5: Deslocamento do trem NFG 0328 ao longo da Ferrovia do Aço no dia 15/07/2008



Fonte: MRS (2008)

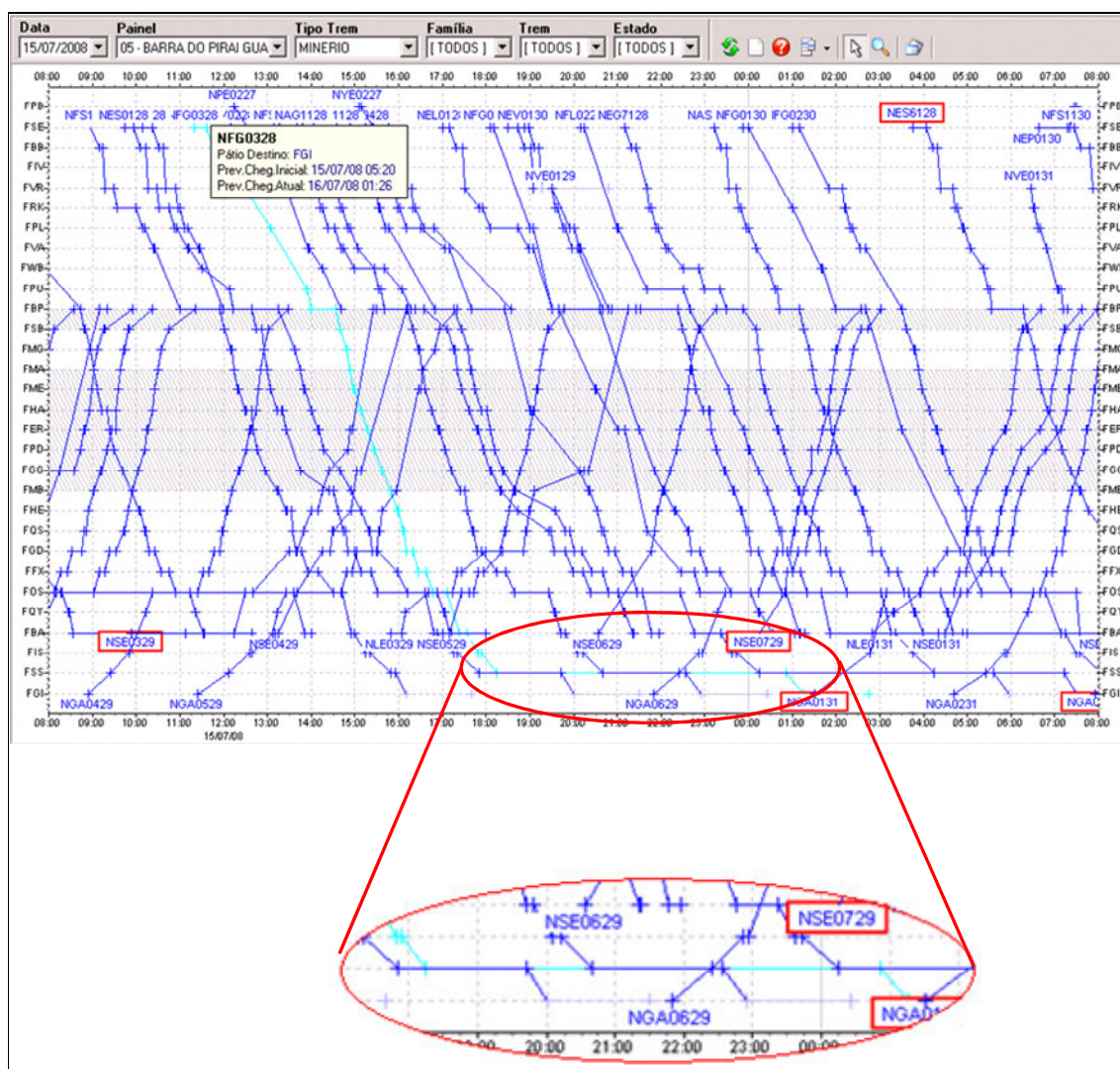
Gráfico 6: Deslocamento do trem NFG 0328 ao longo do painel de Barra do Pirai no dia 15/07/2008



Fonte: MRS (2008)

Pelo que se percebe em FSS (SAI), com destaque no Gráfico 7, o trem escolhido não é um trem com descarga preferencial neste dia, já que chega ali às 18:20 horas e apenas é liberado a partir para o Porto de Guaíba quase à 01:00 hora do dia seguinte (16 de Julho), depois de dar passagem ao trem NAG 1128 e de aguardar em fila um total de 6:40 horas.

Gráfico 7: Destaque para o tempo de fila do trem NFG 0328 antes da descarga



Fonte: MRS (2008). Modificado pela autora.

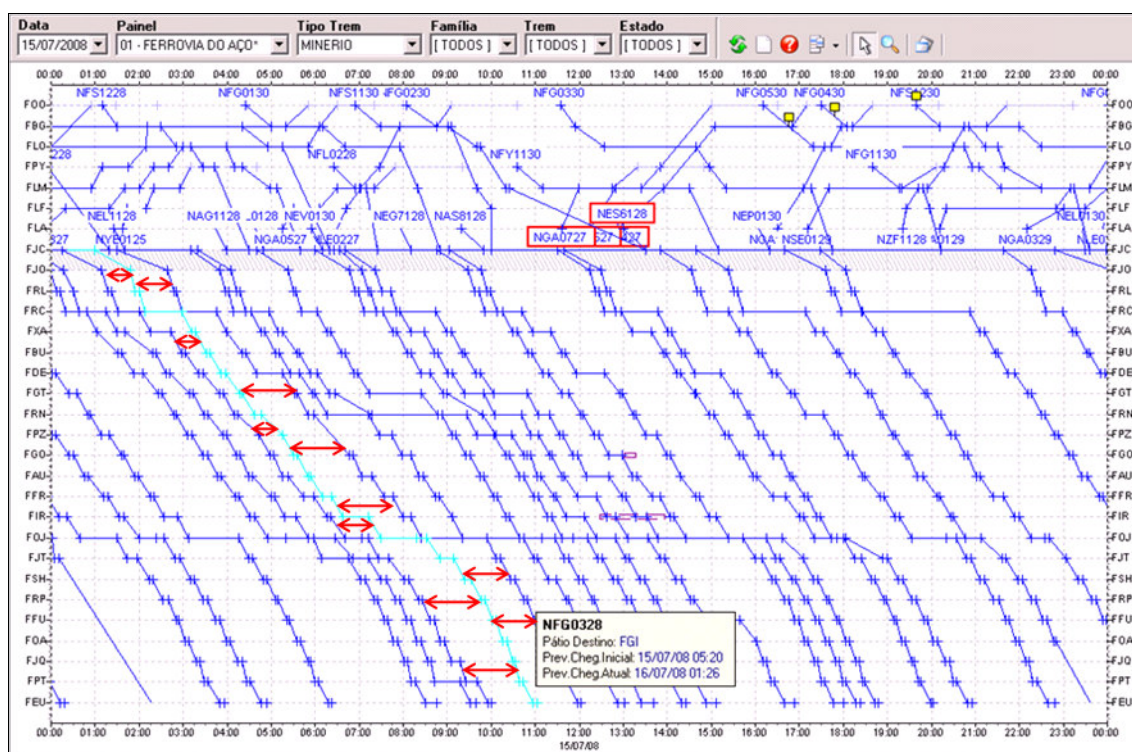
O fato de ser um trem não preferencial é o primeiro fator necessário para a verificação de viabilidade da condução econômica, mas ainda não é suficiente. Também é preciso observar se uma possível variação de sua velocidade para menos não afeta a circulação do próximo trem, sobretudo se este for preferencial, pois, neste caso, pode ser

necessário parar o trem em condução econômica para que ele seja ultrapassado e isto não é possível em qualquer ponto da malha, que é, em sua maior parte, em linha singela.

Em caso de o próximo trem não ser preferencial e dependendo da situação da circulação e das restrições do sistema, pode ser possível a aplicação da condução econômica nele também ou mesmo em uma seqüência de trens consecutivos.

No exemplo em questão, pode-se perceber que o trem NFG 0328 mantém, do P1-07 ao P2-06, um distanciamento médio de cerca de 30 minutos com relação ao trem que segue em sua frente (NFG 0228) e de aproximadamente 1 hora e 10 minutos do próximo trem (NEV 0228), realizando 2 paradas no trajeto. Já do P2-06 ao P2-14, o distanciamento médio com relação ao trem da frente aumenta para aproximadamente 1 hora e 10 minutos e com relação ao trem de trás diminui para cerca de 1 hora, sendo realizada apenas uma parada, de acordo com o Gráfico 8:

Gráfico 8: Espaçamento médio de tempo entre o trem NFG 0328 e os trens NFG 0228 (seu antecessor) e NEV 0228 (seu sucessor) no dia 15/07/2008 na Ferrovia do Aço



Fonte: MRS (2008). Modificado pela autora.

Fica claro aqui, que no trajeto FJC/ FOJ a condução econômica poderia ser praticada nos segmentos viáveis, já que o trem estudado, por ser claramente não preferencial, não necessita de tanta proximidade com relação ao trem da frente e, simultaneamente, tem folga com relação ao trem de trás, sendo esta suficiente para evitar qualquer interferência na

circulação daquele caso tenha preferência de descarga. Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos no teste da condução econômica, o tempo de circulação neste trecho, sem considerar as necessidades diferenciais de tempo para paradas (desacelerações, congestionamentos em pátios e acelerações), aumentaria apenas cerca de 10 minutos, com um consumo de aproximadamente 263 litros de óleo diesel a menos.

O aumento de espaçamento com relação ao trem da frente no trajeto FOJ/ FEU evidencia a inexistência de necessidade de alta performance do trem no trajeto anterior, visto que o tempo ganho de FJC a FJO é perdido com a parada de mais de 1 hora no pátio de Bom Jardim. Neste trecho, ganhos também poderiam ser obtidos através, por exemplo, do desligamento de uma locomotiva, já que o espaçamento com relação ao próximo trem permanece com certa folga.

No trecho seguinte, de FSE a FBP, que já contempla o desligamento de uma locomotiva, o espaçamento com relação ao próximo trem (agora, o NPE 0227) continua em aproximadamente 1 hora. Logo, ali também poderia ser obtida certa economia de combustível através, por exemplo, da utilização do SAI, sendo que, além disso, o trem poderia ficar parado no pátio de Barra do Pirai a metade do tempo que ficou. Tudo isso sem atraso algum em sua chegada em FSS, ou seja, seu tempo de fila na descarga não sofreria qualquer acréscimo.

Percebe-se, assim, que, mesmo sendo inviável eliminar ou mesmo difícil de reduzir a fila na descarga através da condução econômica, há meios de se reduzir os tempos de parada em pátios, então, de qualquer maneira, a empresa sempre pode obter dois benefícios: melhoria de eficiência energética e diminuição de horas de trens parados (THP – trem hora parado).

Todo o cenário aqui descrito, já pronto e bem definido, pode ser previsto em tempo real com grande precisão pelos despachadores e analistas do CCO, por meio de observação direta dos painéis de circulação e de informações por eles obtidas sobre as preferências do dia, mas dado o seu grande volume de tarefas diárias e a sua necessidade de atenção constante e simultânea a muitos trens, para que a condução econômica pudesse ser implantada como um padrão na MRS, seria necessário o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão.

4.4. Planejamento de um Sistema para Implantação da Condução Econômica

Depois de estudar devidamente o processo de transporte do minério para exportação, da carga à descarga, e todas as suas variáveis e de apresentar o procedimento de condução econômica e os seus resultados, inclusive ilustrando um exemplo de

possibilidade de sua aplicação, pode-se agora delinear as especificações inerentes ao sistema sugerido.

Cabe ressaltar que o que aqui será detalhado corresponde à primeira etapa de trabalho necessária para o desenvolvimento de um sistema: o Planejamento, que engloba estudo do sistema e definição de suas necessidades e que pode ser útil em caso de a alta administração da MRS se interessar pelo seu real desenvolvimento.

Para qualquer alternativa de desenvolvimento de um sistema, a definição do problema ou dos requisitos iniciais é de fundamental importância para o seu sucesso. Se os requisitos não forem devidamente levantados, ou erroneamente interpretados pelos programadores do sistema, há grande possibilidade deste não ser aceito ou utilizado, por não atender às necessidades de informações de seus usuários, e ainda demandar gastos inesperados devido aos esforços para sua correção.

4.4.1. Justificativa para a Criação de um Sistema

Após todo o estudo levantado, aqui já está clara a possibilidade de adoção de uma condução mais econômica pelos trens da MRS, dependendo, como também constatado, das restrições físicas do processo e de critérios comerciais. Todas as considerações levantadas a respeito do fluxo de transporte de minério de ferro de exportação a caminho da descarga também são válidas para os demais fluxos da empresa: trens de minério direcionados à carga e trens de carga geral (nos sentidos carga e descarga).

Ocorre que o grande número de restrições e variáveis envolvidas na circulação impede que a implantação do procedimento de condução econômica seja baseada na orientação livre e intuitiva dos despachadores e analistas do CCO, que, além de já serem responsáveis por um trabalho que exige atenção constante, não conseguem, apenas visualmente, detectar a velocidade dos trens.

Pensando-se nisto, chegou-se à idéia de proposição de um sistema de apoio à decisão, que pudesse ser administrado e manipulado por estes profissionais para uma aplicação em tempo real da condução econômica na circulação, com o objetivo de promover economia de combustível.

4.4.2. Considerações do Sistema

Um sistema a ser desenvolvido para auxílio na implantação da condução econômica deve considerar como dados de entrada:

- Cenário momentâneo de circulação: número de trens circulando, número de trens parados (em pátios ou linhas de movimento), localização dos trens, sentido de movimentação, distância entre eles, cruzamentos previstos, existência e tamanho de filas;
- Dados específicos de cada trem: velocidade, tamanho, peso bruto, tipo de carga, número de locomotivas na “cabeça” e na “cauda” do trem, número de vagões, utilização de SAI e Locotrol, tempo de permanência do maquinista do trem, origem e destino;
- Dados específicos das locomotivas da MRS: disponibilidade, capacidade de tração, taxa de consumo de combustível por ponto de aceleração;
- Características da malha: aderência, resistência à compressão, perfis de rampa, velocidades máximas autorizadas por trecho, restrições de velocidade;
- Padrões esperados: paradas programadas, atividades programadas, tempo de um ponto a outro da malha, tempo de ciclo total, tempo das paradas em pátios, tempo das atividades em pátios;
- Critérios de atendimento ao cliente: contratos, prioridades, negociações e preferências de cada dia;
- Políticas da empresa: faturamento até 01:00 hora do dia seguinte, preferência por filas às portas do cliente;
- Metas da empresa: atendimento do cliente em tempo (“*on time*”), redução máxima do *transit time*.

4.4.3. Requisitos do Sistema

Para fazer um acompanhamento em tempo real da circulação, um possível sistema criado com foco na melhoria de eficiência energética deve ser altamente dinâmico e flexível. Além disso, deve respeitar os seguintes requisitos:

- Requisitos dos interessados: atendimento às necessidades de suporte à decisão dos controladores do CCO, disponibilização de visão global e gerencial do problema, auxílio na gestão do processo por parte dos supervisores do CCO, respeito às premissas de planejamento e atendimento às demandas;
- Requisitos de desempenho: alta capacidade de processamento de dados, em virtude do elevado número de variáveis envolvidas no problema, e tempo mínimo de resposta, devido à exigência de ações rápidas e momentâneas;
- Requisitos de segurança: acesso via *login* e senha e níveis diferenciados de acesso, com permissão de inclusão e edição de dados somente aos colaboradores do CCO;
- Requisitos de interface com o usuário: interface de fácil entendimento, com texto em português e campos auto-explicativos;

- Requisitos operacionais:
 - Permitir comunicação com a rede corporativa da MRS e com outros sistemas já existentes na empresa de acompanhamento da circulação, como o SISLOG.
 - Possibilitar alterações de modelos ou premissas por parte dos administradores do sistema (colaboradores do CCO), em caso de reivindicações de preferências diárias.
 - Viabilizar inclusão de comentários/ observações em sua interface ao longo de todo o processo de tomada de decisão.
 - Propor diferentes valores de velocidade para os trens em circulação, respeitando e/ou atendendo a todas as considerações de entrada;
- Requisitos de resultado: obtenção de lucro para a empresa, através de economia de combustível, melhor produtividade de ativos e redução de tempo em fila.

4.4.4. Saídas do Sistema

As saídas de um sistema de suporte à aplicação da condução econômica devem ser, obviamente, as possíveis velocidades econômicas dos trens do cenário, que nem sempre serão ótimas e que quase nunca seguirão um padrão, a serem repassadas pelos despachadores ou analistas do CCO aos maquinistas via rádio instantaneamente. Como complementos, ainda podem ser geradas outras saídas, tais como cálculos de indicadores e relatórios, preferencialmente com recurso de exportação para aplicativos do pacote *Office*, contendo “fotos” de diferentes cenários sugeridos.

Tal sistema, que deve ser também uma ferramenta de análise, ainda pode fornecer outras informações, tais como: nível de combustível nos tanques das locomotivas, definição de prioridades de abastecimento, padrões de consumo por locomotivas, por trechos, por faixas de velocidade, estudos quantitativos sobre cruzamentos e paradas de trens, entre outros.

Indo além destas propriedades básicas, pode-se pensar, inclusive, na possibilidade de aprimoramento do sistema através da contextualização, por parte deste, do problema das filas, o que pode acontecer, por exemplo, por meio da utilização de um indicador do tamanho das filas como parâmetro para a tomada de decisão sobre a aplicação ou não da condução econômica. As saídas, neste caso, seriam ainda mais embasadas e ponderadas e maiores também seriam as chances de ganho para a empresa.

Capítulo V

CONCLUSÃO

Pelo que foi descrito, estudado e sugerido neste trabalho, pode-se concluir que a condução econômica é uma prática que pode trazer significativa redução de custos para a MRS, mas que, para ser transformada em um procedimento padrão, precisa de mais do que a formulação de um procedimento, ou seja, necessita de um sistema complexo de apoio a ser utilizado pelos controladores do CCO.

A simulação do procedimento de condução econômica, realizada pela equipe da Engenharia de Operações da empresa, obteve resultados excelentes, mas considerando uma operação isolada. Pela simplicidade dos resultados e sua pouca divergência com relação aos padrões esperados, chegou-se mesmo a pensar que tal procedimento não fosse capaz de influenciar o cotidiano do CCO e pudesse ser passado diretamente aos maquinistas. A situação, entretanto, muda bastante quando são levantadas todas as variáveis e restrições do processo, daí a resistência do CCO com relação à sua aplicação. Mas cabe aqui ressaltar que os membros do CCO não conhecem a fundo o procedimento, talvez, mesmo, por falta de comunicação, e estão abertos a possíveis testes. O que alegam como razões para tal oposição são a pouca confiabilidade nos ativos da empresa, conceito que vem mudando bastante com o passar do tempo, e as preferências de circulação atreladas à inexistência de pontos abundantes na malha onde um trem não preferencial em condução econômica possa parar para dar passagem a um trem preferencial.

Para que não restem dúvidas com relação às vantagens da condução econômica, a solução mais adequada é a formulação de um sistema estruturado, capaz de agregar todas as peculiaridades percebidas. Além disso, para que tal sistema seja realmente útil, é preciso investir em treinamento, tanto para os colaboradores do CCO, sobre o seu funcionamento, quanto para os maquinistas e seus auxiliares, com relação às idéias e técnicas do procedimento de condução econômica já existente. Cabe ressaltar também a necessidade de alguns outros investimentos, como, por exemplo, em mais equipamentos de SAI e Locotrol, que ainda não existem em todas as locomotivas e que são elementos fundamentais para a prática de tal procedimento.

Ao longo dos últimos anos, mesmo que informalmente, certas recomendações da condução econômica já vêm sendo praticadas na empresa, sobretudo em razão da maior divulgação do projeto “Torneio Diesel”, que vem colocando cada vez mais em voga a questão da eficiência energética. Os benefícios obtidos até o momento têm aumentado a atenção da alta administração da companhia para a economia de combustível, o que é um sinal de que um sistema como o aqui proposto pode vir a ser criado num futuro próximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Transportes Terrestres – site institucional, www.antt.gov.br (consulta: março/2008).

Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários – site institucional, www.antf.org.br (consulta: maio/2008).

BRINA, H. L., 1982, *Estradas de Ferro 2*, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora.

CAMPOS, E. R., *et al.*, 2003, “Metodologia de gestão por processos”, *Pró-reitoria de Desenvolvimento Universitário*, www.prdu.unicamp.br (consulta: maio/2008).

CARDOSO, J., 2007, “Introdução aos Sistemas de Informação”, *PUC RS – Campus Uruguaiana*, www.pucrs.campus2.br (consulta: outubro/2008).

COELHO, E. J. J., 2003, *Locomotivas Articuladas, as gigantes da era do vapor*, Rio de Janeiro, Memória do Trem.

Confederação Nacional do Transporte – site institucional, www.cnt.org.br (consulta: maio/2008).

GONÇALVES, J. E. L., 2000a, “As empresas são grandes coleções de processos”, *RAE – Revista de Administração de Empresas*, www.rae.com.br (consulta: maio/2008).

GONÇALVES, J. E. L., 2000b, “Processo, que processo?”, *RAE – Revista de Administração de Empresas*, www.rae.com.br (consulta: maio/2008).

KITAMURA, F., 2006, *Especialização Ferroviária em Transporte de Cargas*, Juiz de Fora, Academia MRS.

LANDA, F. T., 2007, “Utilização de Simulação de Eventos Discretos para análise da operação de locomotivas de auxílio nos trens de carga: caso MRS”, *Fórum mineiro de Engenharia de Produção*, www.fmepro.org (consulta: março/2008).

LUPPI, I., 2008a, “Tipos de Sistemas de Informação na empresa”, *Oficina da Net – Construindo conhecimento*, www.oficinadanet.com.br (consulta: outubro/2008).

LUPPI, I., 2008b, “Desafios com os Sistemas de Informação”, *Oficina da Net – Construindo conhecimento*, www.oficinadanet.com.br (consulta: outubro/2008).

MARTINS, C. T., 2005, “Sistemas de Informação nas Organizações”, *Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto*, www.iscap.ipp.pt (consulta: outubro/2008).

MORAIS, E. R., 2004, “OTRP — Otimizador de Tração & Redutor de Potência”, *Revista Ferroviária*, www.revistaferroviaria.com (consulta: março/2008).

MRS Logística S.A. – site institucional, www.mrs.com.br (consulta: março/2008).

NOGUEIRA, F. M. A, *et al.*, 2006, “Análise da dinâmica do transporte ferroviário de minério visando a eficiência da programação de trens: o caso da MRS Logística S.A.”, *Fórum mineiro de Engenharia de Produção*, www.fmepro.org (consulta: março/2008).

ORLANDINI, L., 2005, “A importância dos Sistemas de Informação”, *Bonde. O seu portal*, www.bonde.com.br (consulta: outubro/2008).

PortoGente: Revista Eletrônica Portuária, www.portogente.com.br (consulta: maio/2008).

ROZA, L. C., 1999, *Introdução à Ferrovia*, Campinas, [s.n.].

SANTOS, A. H. M., *et al.*, 2001, *Conservação de Energia, Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*, Itajubá, Editora da EFEI.

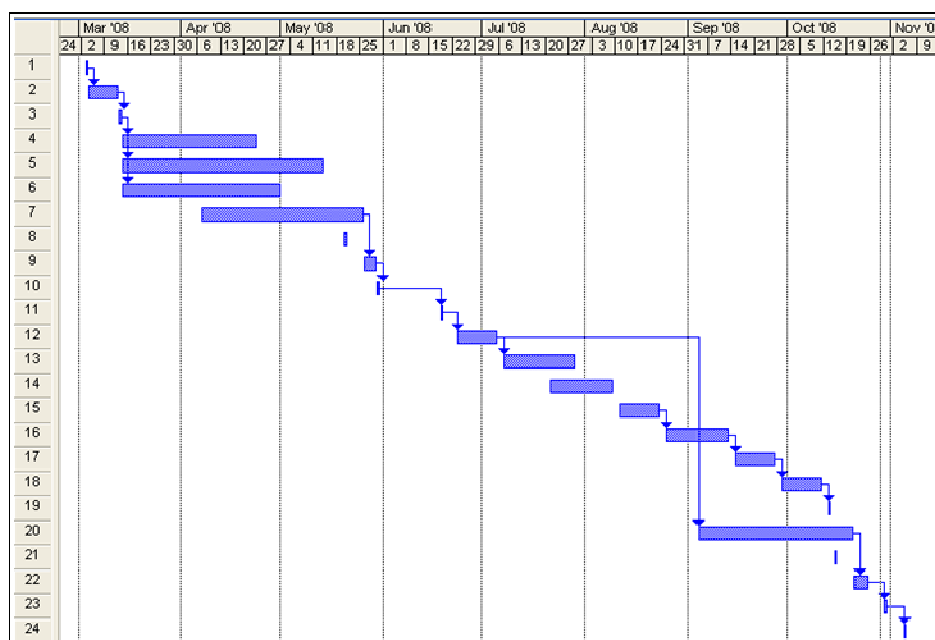
Senado Federal – site institucional, www.senado.gov.br (consulta: maio/2008).

SOUZA, R. F., 2008, “Introdução aos Sistemas de Informação”, *Departamento de Ciência da Computação – UFLA*, www.dcc.ufla.br (consulta: outubro/2008).

VILLELA, C. S. S., 2000, “Mapeamento de processos como ferramenta de reestruturação e aprendizado organizacional”, *Banco de Teses e Dissertações*, teses.eps.ufsc.br (consulta: maio/2008).

APÊNDICE

Gráfico 9: Cronograma de atividades para elaboração do TCC



Fonte: Autora (2008)

Onde:

Tabela 14: Atividades propostas na metodologia

	Nome da tarefa
1	Escolha da empresa
2	Elaboração da proposta de TCC
3	Entrega da proposta de TCC
4	Revisão Bibliográfica
5	Coleta de dados na empresa
6	Entendimento do processo estudado na MRS
7	Elaboração do Memorial de Qualificação
8	Agendamento da apresentação do Memorial de Qualificação
9	Correção e revisão do Memorial de Qualificação
10	Entrega do Memorial de Qualificação para a banca
11	Apresentação do Memorial de Qualificação
12	Período para reajustes no trabalho
13	Coleta de dados mais específicos na empresa
14	Mapeamento do processo analisado
15	Estudo dos resultados da condução econômica
16	Exemplo de aplicação da condução econômica
17	Análise dos dados
18	Proposição do sistema
19	Conclusão
20	Elaboração do TCC
21	Agendamento da apresentação do TCC
22	Correção e revisão do TCC
23	Entrega do TCC para a banca
24	Apresentação do TCC

Fonte: Autora (2008)