



Olyntho Carmo Pereira

**SOLUÇÕES DE OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE UMA FERROVIA DE CARGA:**

O caso da Estrada de Ferro Carajás – EFC

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Eugenio Leal

Rio de Janeiro

Abril de 2009



Olyntho Carmo Pereira

**SOLUÇÕES DE OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE UMA FERROVIA DE CARGA:**

O caso da Estrada de Ferro Carajás – EFC

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Prof. Dr. José Eugenio Leal
Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Dr. Fabiano Mezadre Pompermayer
Consultor Autônomo

Prof. Dr. Luiz Felipe Roriz Rodriguez Scavarda do Carmo
Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Dr. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de Abril de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Olyntho Carmo Pereira

Graduou-se em Ciências Contábeis pela Faculdade de Economia e Finanças do Rio de Janeiro em 1999. Pós-Graduado em Controladoria pela Universidade de São Paulo em 2002. Atuou nos diversos cargos técnicos e executivos da Vale por 16 anos. Atualmente trabalha prestando serviços de Consultoria na área de Logística, Suprimentos, Controle e Finanças com a sua própria empresa de Consultoria.

Ficha Catalográfica

Pereira, Olyntho Carmo

Soluções de otimização da eficiência energética de uma ferrovia de carga : o caso da Estrada de Ferro Carajás - EFC / Olyntho Carmo Pereira ; orientador: José Eugenio Leal. – 2009.

126 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

CDD: 658.5

AGRADECIMENTOS

Aos Professores orientadores José Eugenio Leal e Leonardo Campo Dallorto pelo apoio e confiança depositada.

Aos Doutores Luiz Felipe Scavarda e Fabiano Mezadre Pompermayer pela participação da banca examinadora.

A todos os meus familiares, amigos e professores do mestrado profissional em logística.

Em especial para minha esposa Andréia e meu filho Thiago pela compreensão, incentivo e paciência.

Dedico este trabalho para o meu maior incentivador na vida, meu avô Olyntho Oliveira da Encarnação (in memoriam).

Resumo

Pereira, Olyntho Carmo; Leal, Jose Eugenio. **Soluções de otimização da eficiência energética de uma ferrovia de carga, o caso da Estrada de Ferro Carajás**. Rio de Janeiro, 2009. 126p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A eficiência energética representa o consumo de óleo diesel das locomotivas dividido pela carga transportada e pela distância de um determinado trecho. Este é um tema pouco pesquisado na prática ferroviária, entretanto é um assunto de extrema importância, pois consiste no maior gasto de uma ferrovia de carga. Para melhorar a eficiência energética, ações podem ser tomadas em alguns níveis: operacional, tecnológico, manutenção, recebimento, controle e abastecimento e gerencial. Esta pesquisa analisa os fatores que impactam no consumo de óleo diesel bem como as ações tomadas com o objetivo de minimizar o consumo e melhorar o indicador de eficiência energética (quanto menor o indicador melhor é a eficiência energética) e os resultados atingidos por tais medidas foram considerados satisfatórios implicando em economia no consumo de combustível para os anos de 2007 e 2008. Considerando o futuro do indicador foi realizada uma análise comparativa entre os modelos de trem com 330 vagões, o trem de tração distribuída de dois blocos (TD2B) implantado em 100% da EFC em maio de 2008 e o trem com 330 vagões, trem de tração distribuída com três blocos (TD3B) em fase experimental desde agosto de 2008. Esta comparação teve como resultados uma melhor eficiência em relação ao consumo de combustível para o trem TD3B. Testes de comparação entre os valores do indicador foram realizados e foi obtido um valor de 63% de probabilidade da eficiência energética do trem TD3B ser melhor que a eficiência energética do trem TD2B. Finalmente, foi realizado um prognóstico para o indicador de eficiência energética com 100% da malha com trem TD3B (previsão para janeiro de 2009) e o valor de eficiência energética diminuiu dos atuais 1,51 L/KTKB para 1,49 L/KTKB.

Palavras-chave

Operação, indicador, eficiência energética, óleo diesel

Abstract

Pereira, Olyntho Carmo; Leal, Jose Eugenio (Advisor). **Solutions of optimizatiion of the energy efficiency of a railroad of load, the case of Estrada de Ferro Carajás.** Rio de Janeiro, 2009. 126p. MSc. Dissertation, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The energy efficiency represents the oil consumption diesel of the locomotives multiplied by the load carried and the distance from one determined stretch. This is a subject little searched in the practical railroad, however is a subject of extreme importance. To improve the energy efficiency, actions can be taken in some levels: operational, technological, maintenance, act of receiving, control and supplying. This research analyzes the factors that influences the oil consumption diesel and the actions taken to minimize the consumption and to improve the pointer of energy efficiency and the results reached for such measures had been considered satisfactory implying in economy in the fuel consumption for 2007 and 2008 (until September, 2008). Considering the future, a comparative analysis was carried through enters the models of train with 330 wagons, the TD2B train implanted in 100% of the EFC in May, 2008 and TD3B train in experimental phase since August, 2008. This comparison informed a better efficiency to the fuel consumption for the TD3B train. Finally, a prognostic for the pointer of energy efficiency with TD3B trains in 100% of the railway (forecast for January of 2009) and the value of energy efficiency pointer diminishes of current 1.51 L/KTKB for 1,49 L/KTKB.

Keywords

Energy Efficiency, pointer, Oil diesel, railroad

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
METODOLOGIA.....	21
ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2. MATRIZ DO TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL	23
2.1 Características qualitativas dos transporte de cargas	26
2.2 Modal Rodoviário	27
2.3 Subsetor Hidroviário	35
2.4 Subsetor Dutoviário	41
2.5 Subsetor Aéreo	43
3. TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS	45
3.1 Estrada de Ferro Carajás (EFC).....	52
3.2 Dinâmica Ferroviária	54
3.3 Forças que Atuam no Trem.....	57
3.3.2 Força de Tração	60
3.3.3 Choques	61
3.3.4 Diferencial de Velocidade.....	62
3.3.5 Potência da Locomotiva	63
3.3.6 Consumo do motor diesel.....	64
4. SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÓLEO DIESEL ...	66
4.1 Soluções Educacionais e Gerenciais	67
4.2 Soluções de Manutenção	67
4.3 Soluções no Controle, Recebimento e Abastecimento	67
4.4 Soluções Tecnológicas.....	68
4.4.1 Tecnologia da tração distribuída	70
4.5 Soluções Operacionais.....	71
4.5.1 Locomotivas em Trens de Serviço	72
4.5.2 Locomotivas em Trens de Passageiros.....	72
4.5.3 Locomotivas em Manobras	73
4.5.4 Locomotivas em Trens de Carga	74
5. IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES NO MODAL FERROVIÁRIO	81
5.1. O indicador de eficiência energética	82
5.2 Cálculo do Indicador de Eficiência Energética	83
5.2.1 Geração do número de toneladas brutas transportadas	84
5.2.2 Geração do número de TKB's (Tonelada Quilômetro Bruta).....	84
5.2.3 Associação do TKB com a eficiência energética dos trechos	85
5.3 Indicadores que impactam no consumo de óleo diesel	85
5.3.1 Carregamento Médio de Vagões.....	86
5.3.3 Transit Time (Tempo Médio de Percurso)	87
5.4 Correlação entre Eficiência Energética, Carregamento Médio de Vagões, THP e Transit Time	87

6. MEDIDAS QUE IMPACTAM NO CONSUMO DE DIESEL ADOTADAS NA EFC	89
6.1 Providência Educacional – Treinamento de Maquinistas	89
6.2 Providência Gerencial – Painel de Eficiência Energética	91
6.3 Providência no controle, recebimento e abastecimento – Gestão do Abastecimento na EFC	92
6.4 Providência Operacional – Implementação do Plano de Condução do Trem	94
6.6 Providência Tecnológica – Implantação do Trem-Tipo TD2B - 330 vagões	97
6.6.1 Relação potência/peso das configurações 220 e 330 vagões	98
6.6.2 Projeto TD2B – 330 vagões	100
6.7 Providência Tecnológica – Implantação do Trem-Tipo TD3B – 330 vagões	101
7. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS TRENS DA EFC	104
7.1 Cálculo da eficiência energética por trem e meta	104
7.2 Evolução do indicador de eficiência energética na EFC	105
7.3 Resultados operacionais de eficiência energética	106
7.4 Trem de minério de ferro – 220, 330(TD2B), 330(TD3B)	108
7.5 Equação da Eficiência Energética e Prognóstico	111
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
8.1 Medidas futuras que impactam consumo de combustível	114
8.1.1 Regulamentação do Desligamento de Locomotivas	114
8.1.2 Programa de Gestão Automatizada do Abastecimento	116
8.2 Sugestões de melhoria	117
9. CONCLUSÕES	119
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
11. BIBLIOGRAFIA	123
12. ANEXOS	124
ANEXO 1	124
Planilha de cálculo da eficiência energética do trens tipo TD2B	124
ANEXO 2	125
Planilha de cálculo da eficiência energética dos trens TD3B	125
ANEXO 3	126
Dados históricos de eficiência energética (Jan/2007 à Set/2008)	126

Lista de abreviações

ANTT	Associação Nacional de Transportes Terrestres
CCO	Centro de Controle Operacional
CEPET	Centro de Treinamento e Pesquisa Ferroviária
EE	Eficiência Energética
EFC	Estrada de Ferro Carajás
Kgf	Kilograma Força
L	Litros
MAT	Módulo de Aumento de Tração
PPC	Planejamento, Programação e Controle
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S.A.
SGF	Sistema de Gestão Ferroviária
THP	Trem Hora Parada
SGF	Sistema de Gestão Ferroviária
TBT	Tonelada Bruta Transportada
TD2B	Trem tração distribuída de dois blocos
TD3B	Trem tração distribuída de três blocos
TD4B	Trem tração distribuída de quatro blocos
Trem 330	Trem de minério de ferro com trezentos e trinta vagões
Tf	Tonelada Força
TKB	Toneladas Quilômetro Bruta
TKU	Toneladas Quilômetro Útil
TU	Toneladas Útil
UNILOG	Sistema de Gestão da Operação Ferroviária

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perspectiva do vagão GDT	19
Figura 2: Principais causas que afetam a eficiência do transporte de cargas brasileiro	31
Figura 3: Comparação da eficiência energética entre modais	40
Figura 4: Mapa de localização dos dutos no Brasil.	43
Figura 5: Distribuição das Principais Ferrovias no Brasil.	50
Figura 6: Mapa Ilustrativo da Estrada de Ferro Carajás e Ferrovia Norte-Sul	54
Figura 7: Diferencial de velocidade implica em folgas.....	63
Figura 9: Geração da TKB em um trecho.....	84
Figura 10: Relação entre TKB e Eficiência Energética por trechos de um percurso	85
Figura 11: Parte do painel de Eficiência Energética 2008.....	92
Figura 12: Trem tipo de carregamento de minério de ferro com 330 vagões (TD2B)	100
Figura 13: Trem tipo de carregamento de minério de ferro com 330 vagões (TD3B)	102
Figura 14: Teste de comparação entre as amostras de EE do trem TD2B e TD3B	111
Figura 15: Equação da eficiência energética da EFC	112
Figura 16: Funcionamento do projeto de gestão de abastecimento	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Balanço de energia útil no Brasil no tempo.....	14
Gráfico 2: Proporção do consumo de óleo diesel em 2007 por tipo de trem na EFC	17
Gráfico 3: Evolução do Volume transportado na EFC (2003 – 2017).....	17
Gráfico 4: Composição da matriz do transporte de carga no Brasil em 2008.	23
Gráfico 5: Participação dos modais no mundo	24
Gráfico 6: Matriz do transporte brasileiro em 2025.....	26
Gráfico 7: Classificação da malha viária brasileira em 2004.	28
Gráfico 8: Evolução da carga por eixo do vagão na EFC.....	69
Gráfico 9: Proporção do consumo de óleo diesel por atividade de locomotivas	72
Gráfico 10: Gráfico de dispersão dos dados de eficiência energética (eixo-y) versus <i>transit time</i> ; carregamento médio; e trem-hora-parada (eixo-x)	87
Gráfico 11: Evolução do abastecimento na EFC em 2007	93
Gráfico 12: Panorama da eficiência energética da EFC.....	106
Gráfico 13: Resultados da EFC em 2007, em relação ao óleo diesel.	107
Gráfico 14: Evolução da eficiência energética na EFC	107
Gráfico 15: Evolução da implantação na EFC do trem 330 - TD2B	108
Gráfico 16: Evolução da implantação na EFC do trem 330 – TD3B.....	109
Gráfico 17: Curva de probabilidade acumulada da eficiência energética para cada tipo de trem	109
Gráfico 18: Prognóstico para a eficiência energética da EFC com a entrada do trem TD3B em 100% dos trens de minério e economia em relação ao orçado.....	112
Gráfico 19: Evolução da meta de eficiência energética da EFC.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da EFC em relação ao consumo de combustível.....	16
Tabela 2: Evolução da frota de locomotivas e vagões GDT da EFC.....	18
Tabela 3: Comparativo da base de dados do setor de transporte dos EUA versus Brasil.....	29
Tabela 4: Perfil das empresas que atuam no transporte rodoviário de cargas no Brasil.....	32
Tabela 5: Principais produtos transportados por empresas do setor rodoviário.....	32
Tabela 6: Composição da frota rodoviária por tipo de veículo	33
Tabela 7: Produtos transportados na navegação de cabotagem.	38
Tabela 8: Comparação dos modais hidroviário, ferroviário e rodoviário...	40
Tabela 9: Comparação do setor ferroviário pós-concessão	46
Tabela 10: Extensão da Malha Ferroviária – 2008 (Extensões em km) ...	49
Tabela 11: Produção de transporte em bilhões de toneladas x Km úteis.	51
Tabela 12: Relação Potência/Peso e classe de serviço	75
Tabela 13: Tipo de carga e Quantidade (Ton) transportada na EFC em 2007	76
Tabela 14: Matriz de priorização para os itens que influenciam na eficiência energética.....	79
Tabela 15: Teste de correlação e regressão entre as variáveis eficiência energética, <i>transit time</i> carregamento médio; e trem-hora-parada.....	88
Tabela 16: Exemplo do plano de condução utilizado para o trem 330 - TD2B em 2008	94
Tabela 17: Planilha de cálculo da eficiência energética de um trem de minério	104
Tabela 18: Teste-T de comparação entre amostras dos trens	110
Tabela 19: Consumo de combustível por modelo de locomotiva	115