7. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS TRENS DA EFC

7.1 Cálculo da eficiência energética por trem e meta

O Cálculo da eficiência energética por trem leva em consideração três fatores principais: a quantidade de litros na saída, no terminal da Ponta da Madeira em São Luís, a quantidade de combustível na chegada no mesmo terminal e a quantidade abastecida no percurso. Além disso é adicionado ao consumo de combustível uma consumo estipulado para o HELPER, conjunto de duas locomotivas que se integram ao trem entre as locações (pátios da ferrovia) 33 (Pátio de Açailândia) e 41, para ajudar o mesmo durante este percurso, percurso de maior inclinação. O consumo das locomotivas HELPER é estipulado em 5000 litros mas recentes pesquisas com HELPER lincado, formando o QUADRICOTROL, apresentou consumos na faixa de 3000 a 3500 litros de óleo diesel para as duas locomotivas.

Na tabela 17 é apresentada a planilha modelo com o cálculo da eficiência energética de um trem de minério de ferro com 330 vagões (TD2B ou TD3B):

Tabela 17:Planilha de cálculo da eficiência energética de um trem de minério

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

Consumo médio HELP	3000				
TREM / DATA					
M17 30/07 M08 01/08					
LOCOMOTIVA No	**9006**	**840**	**857**	**751**	FICHA OK
LITROS SAIDA	17000	18000	18000	16400	
LITROS CHEGADA	2700	2800	3200	6800	
CONSUMO = SAIDA - CHEGADA	14300	15200	14800	9600	
ABASTECIMENTO NO PERCURSO	400	1500	0	0	
TOTAL = CONSUMO + ABASTECIMENTO	14700	16700	14800	9600	TOTAL LITROS = 55800

PESO UTIL CARREGADO (PUC)	34460
PESO BRUTO DESCARREGADO (PBD)	6930
DISTANCIA FERROVIA (KM)	892
TKB IDA = PBD x DISTÂNCIA FERROVIA / 1000	6.182
VOLTA = TKB IDA + PUC x DISTANCIA FERROVIA / 1000	36.920
TKB TOTAL	43.101
EE = TOTAL LITROS/TKB TOTAL	**1,36**

Fonte: Vale (2008)

A meta do indicador de eficiência energética da EFC é calculada de acordo com o planejamento do fluxo de trens do corredor que gera uma previsão de litros que serão consumidos pela frota no intuito de cumprir a programação de TKB de cada mês.

O número de TKB está diretamente ligado à eficiência energética de um determinado trecho, depois de consolidados todos os trechos, o total de litros em cada um desses trechos é somado, junto com as TKB's geradas. Dessa forma foi estabelecida a meta de eficiência energética do período. O indicador mensal de EE é medido através do somatório de do consumo diário de combustível dividido pela carga transportada (tonelada bruta) no mês e pela distância percorrida por todas as locomotivas (TKB).

7.2 Evolução do indicador de eficiência energética na EFC

O óleo diesel constitui um importante item no orçamento de uma ferrovia e dimensionar a aquisição desse item é, portanto, uma tarefa necessária e que merece total atenção. Por isso nos últimos anos pode-

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

se perceber a evolução no controle deste índice por parte de algumas ferrovias como observado no estudo de Ribeiro et al. (2006) onde é sugerido um modelo para previsão do consumo de óleo diesel com base em uma demanda futura de transporte da ferrovia.

A gestão da eficiência energética em uma ferrovia deve ser contínuo e sustentável, pois em uma ferrovia como a EFC qualquer ponto não observado pode fazer com que este índice fuja do planejado. Por isso, ações para o melhor acompanhamento e melhoramento do índice devem ser pensadas e planejadas. O indicador de eficiência energética na EFC segue a seguinte evolução.

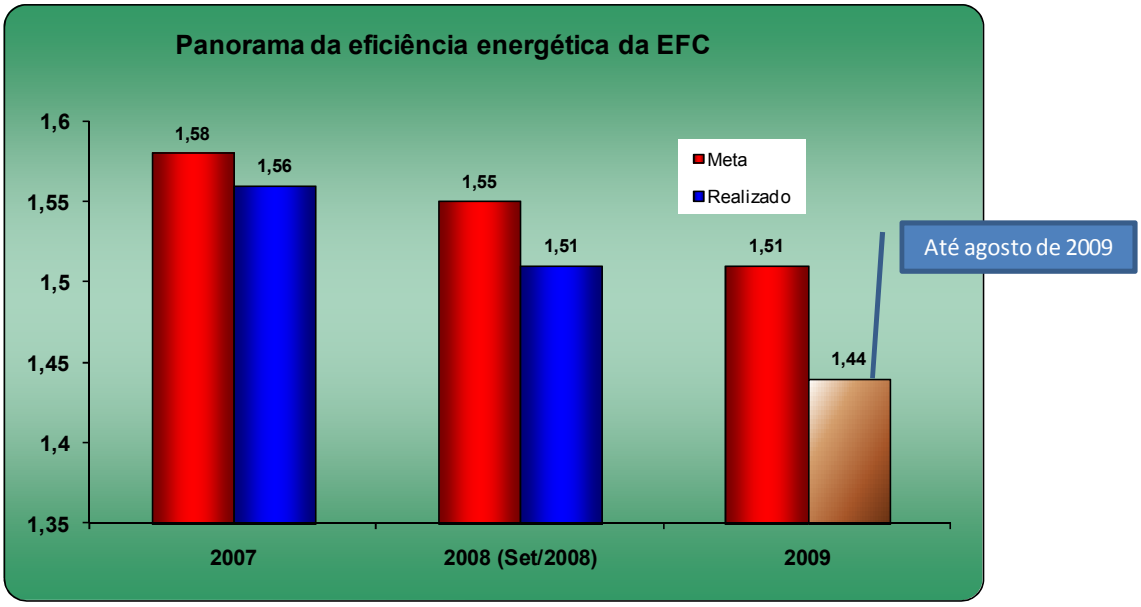


Gráfico 12: Panorama da eficiência energética da EFC

Fonte: Vale(2008)

Verifica-se que o valor da eficiência energética meta diminui. Isso se tem como objetivo motivar gestores a implantar medidas cada dia mais desafiadoras.

7.3 Resultados operacionais de eficiência energética

Em 2007 o valor da eficiência energética foi de 1,56 L/KTKB contra uma meta de 1,58 L/KTKB. Essa diferença corresponde, em reais, uma economia de cerca de R$ 2,7 Mi. A gestão do combustível contribuiu

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

significativamente com a redução dos custos com combustível já que preço médio do combustível realizado foi bem abaixo do orçado.

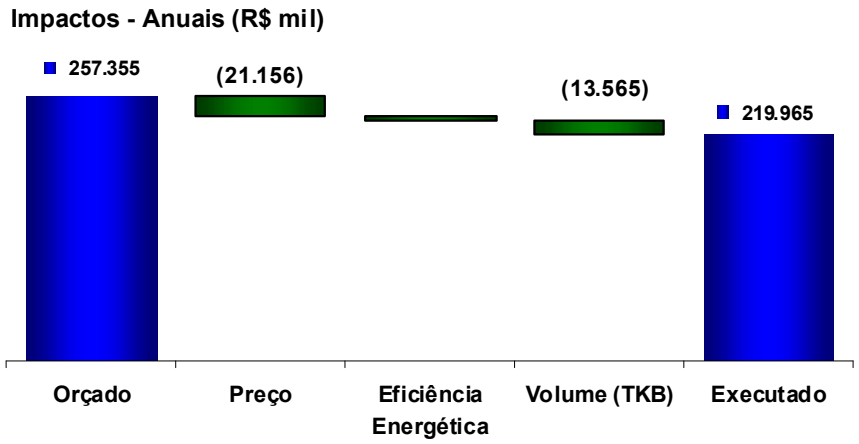


Gráfico 13: Resultados da EFC em 2007, em relação ao óleo diesel.

Fonte: Vale(2008)

Apesar de a quantidade transportada (TKB) não ter atingido a meta do ano (-5,3%) o consumo de combustível da EFC foi 6,4% a menos que o esperado, ou seja, um ganho de 1,1% na eficiência energética. O preço foi 8,7% a menos do que o valor estipulado. Isso se deve principalmente à gestão adotada nesse sentido. As medidas implantadas pela gestão da eficiência energética vem apresentando ótima evolução.

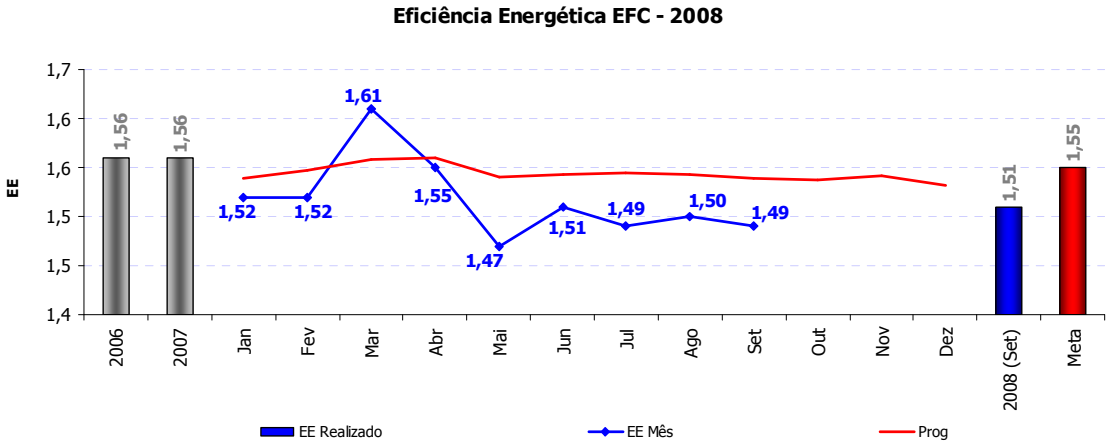


Gráfico 14: Evolução da eficiência energética na EFC

Fonte: Vale(2008)

A meta de eficiência energética de 2007 foi estipulada em 1,58 Litros/MTKB e o resultado final foi cerca de 1,3% (1,56) abaixo da meta

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

planejada. Em 2008 o resultado foi 2,6% abaixo de meta, o dobro do resultado alcançado no ano anterior.

7.4 Trem de minério de ferro – 220, 330(TD2B), 330(TD3B)

No dia 17 de maio de 2008 foi implantado em cem por cento da EFC o trem 330 tipo TD2B. A implantação do trem na malha foi gradual como é apresentado no gráfico 15.

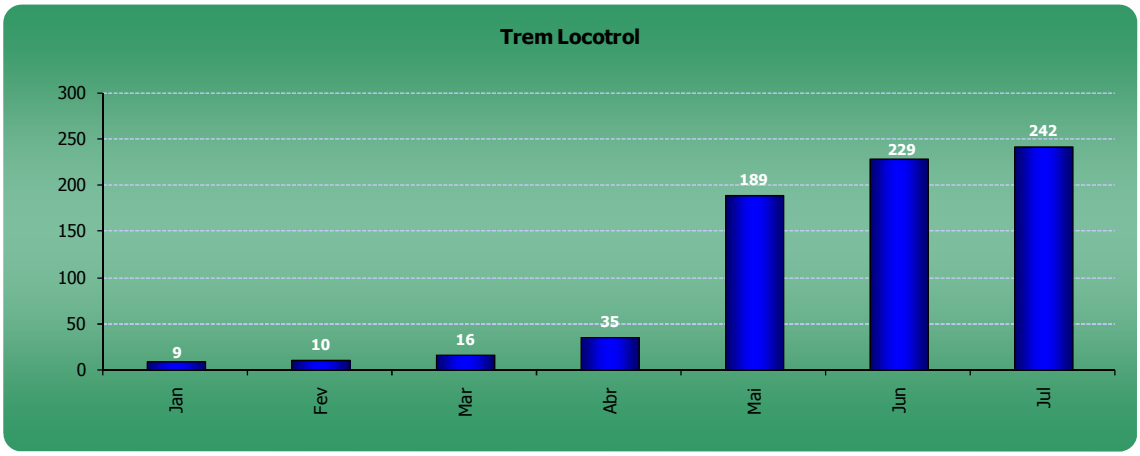
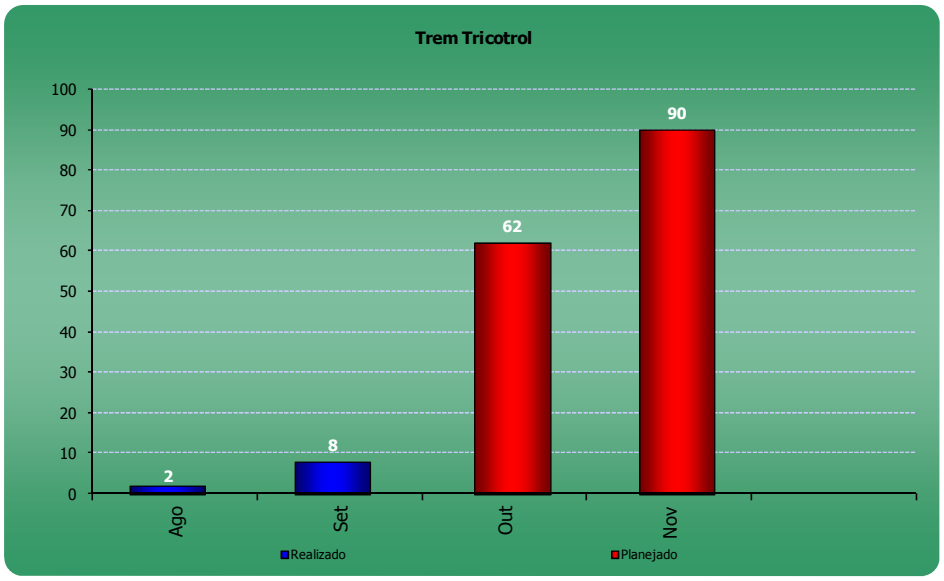


Gráfico 15: Evolução da implantação na EFC do trem 330 - TD2B

Fonte: Vale (2008)

A implantação do trem TD3B iniciou em agosto com dois trens, em setembro foram mais oito trens.



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

Gráfico 16: Evolução da implantação na EFC do trem 330 – TD3B

Fonte: Vale (2008)

Realizando uma análise da evolução da eficiência energética dos trens de minério é verificada uma evolução satisfatória com a modificação do trem tipo.

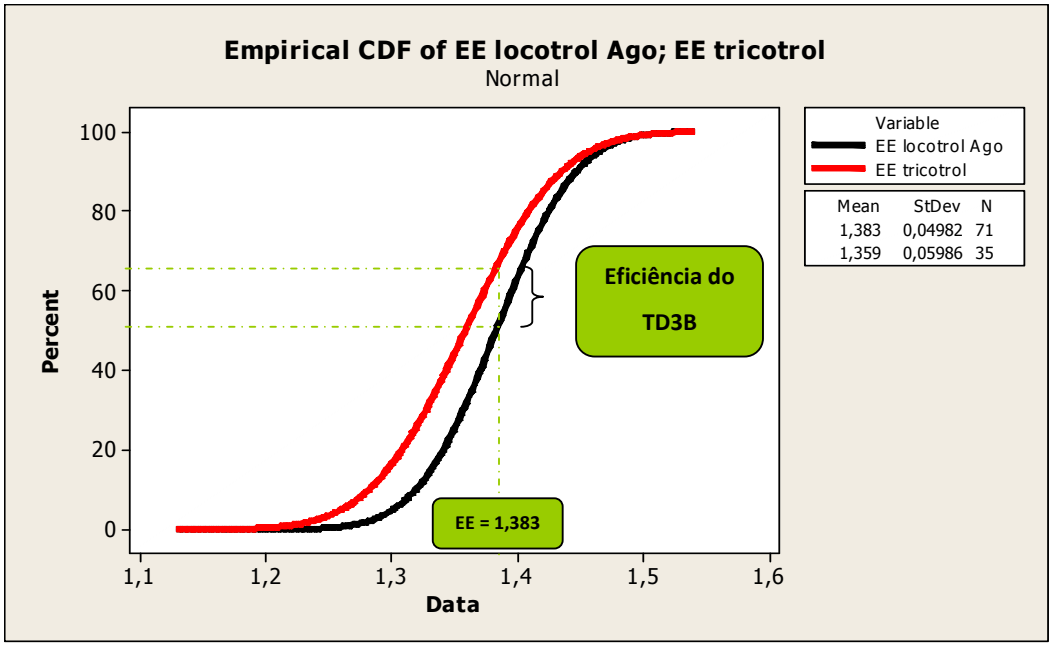


Gráfico 17: Curva de probabilidade acumulada da eficiência energética para cada tipo de trem

De acordo com o gráfico 17 se verifica que o trem TD3B, o mais novo modelo de trem de minério em fase de implantação na EFC, apresenta resultados mais eficientes que o trem TD2B, com uma média igual a 1,359 L/KTKB e com 0,06 L/KTKB de desvio-padrão.

Na tabela 18 é apresentado o teste-t de comparação entre amostras de diferentes tamanhos, tendo como hipótese que o resultado

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

do indicador de eficiência energética do trem TD3B é menor que o do trem TD2B.

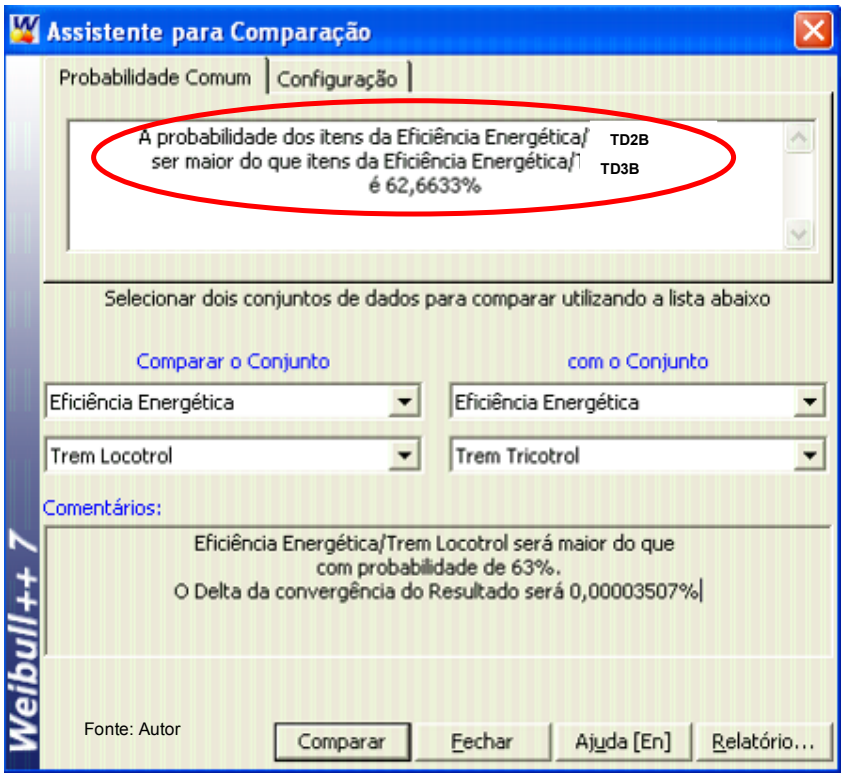
Tabela 18:Teste-T de comparação entre amostras dos trens

Two-sample T for EE TD3B vs EE TD2B Ago					
		N		Mean	StDev
EE TD3B		15		1,3627	0,039
EE TD2B Ago		71		1,3831	0,0498
Difference = mu (EE TD3B) - mu (EE TD2B Ago)					
Estimate for difference:		-0,020			
95% CI for difference	(	-0,045	;	0,004	)
Intervalo da E.E. TD3B (95%)	(	1,339	;	1,387	)
		Confiance		T-Value	**P-Value**
T-Test of difference = 0 (vs <):		95%		-1,75	**0,046**

A hipótese nula é o valor dos itens de eficiência energética do trem TD3B são maiores que os valores do indicador de eficiência energética do trem TD2B. Como o nível de confiança é de 95%, se o valor p for inferior a 0,05 pode-se rejeitar a hipótese nula. Em caso contrário, não há evidência que nos permita rejeitar a hipótese nula (o que não significa automaticamente que seja verdadeira). Com um valor-p de 4,6% rejeita-se a hipótese que os valores de eficiência energética da amostra do trem TD3B são maiores que os valores do trem TD2B e assim pode-se aceitar a hipótese alternativa que os valores de eficiência energética do trem TD3B são menores que a do trem TD2B, ou seja, a eficiência energética do trem TD3B.

Realizando um teste de comparação inverso, ou seja, a hipótese nula foi a que o valor dos itens de eficiência energética do trem TD2B são maiores que os valores do indicador de eficiência energética do trem TD3B têm-se o seguinte resultado:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA



Fonte: Autor

Figura 14: Teste de comparação entre as amostras de EE do trem TD2B e TD3B

Fonte: Autor (2009)

Ou seja, tem-se uma probabilidade de 63% de que os valores de eficiência energética da amostra do trem TD2B são maiores que os valores do trem TD3B e assim pode-se aceitar a hipótese nula do teste.

7.5 Equação da Eficiência Energética e Prognóstico

A eficiência energética da Estrada de Ferro Carajás, como já foi dito, é um item de suma importância e por isso conhecer seu comportamento para se realizar previsões futuras é fundamental para que auxilie na tomada de decisões dos líderes do setor.

Para conhecer o comportamento do valor de eficiência energética da EFC foi realizada uma regressão múltipla com valores históricos (janeiro/2007 a setembro/2008) de eficiência energética dos trens de minério, de carga geral, passageiros e serviço. Como resultado

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

dessa análise foi conhecida a equação de regressão da eficiência energética da EFC apresentada a seguir:

$$EE\ EFC = -0{,}205 + 1{,}05\ EE\ MINÉRIO + 0{,}0932\ EE\ CARGA\ GERAL + 0{,}00447\ EE\ PASSAGEIRO - 0{,}000152\ EE\ SERVIÇO$$

$$R^2 = 92{,}5\% \qquad \textit{(Eq. 11)}$$

Figura 15: Equação da eficiência energética da EFC

Verifica-se um R^2=92,5%, isso significa que 92,5% dos dados são explicados por essa reta de regressão, um valor que verifica a boa adequação da reta aos dados. A partir da reta de regressão acima citada foi realizado um prognóstico para a eficiência energética e a economia em relação ao orçado que a entrada desses trens pode contribuir à EFC quando os trens TD3B forem implantados em 100% dos trens de minério.

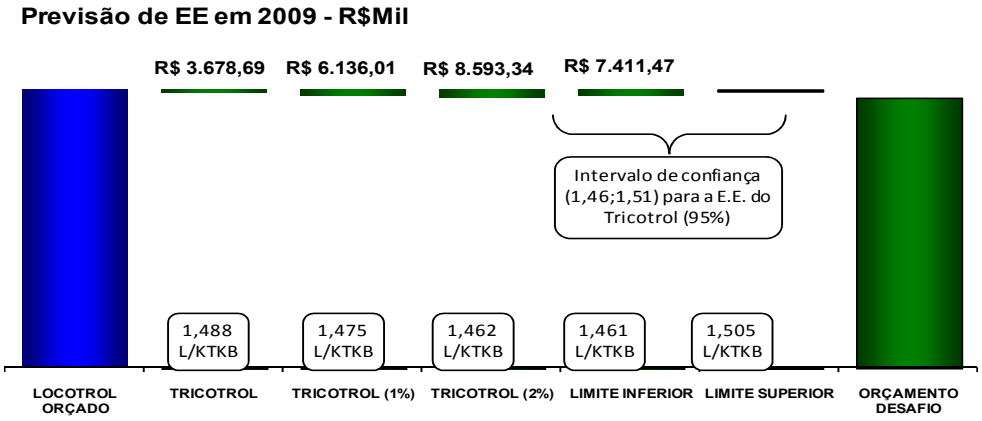


Gráfico 18: Prognóstico para a eficiência energética da EFC com a entrada do trem TD3B em 100% dos trens de minério e economia em relação ao orçado.

Fonte: Autor

1% de redução de gasto com combustível significa cerca de R$ 2,6 Mi. Com o desempenho atual do trem TD3B a expectativa para o ano de 2009, com 100% dos trens de minério sendo com o formato TD3B a previsão estatística apresenta um valor de eficiência energética de 1,483 L/KTKB. O trem TD3B devido sua divisão em três partes apresenta uma boa maleabilidade na confecção dos planos de condução podendo assim encontrar um plano mais otimizado do que o utilizado hoje por isso foi proposta nesse trabalho uma melhora na eficiência desses trens em 1% e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA

2% como é verificado no gráfico 18. O intervalo de confiança para a Eficiência Energética da EFC para 2009 é (1,461;1,505) com 95% de confiança, ou seja, estatisticamente com 95% de confiança e de acordo com as análises dos trens TD3B atuais eu tenho 95% de probabilidade de bater a meta estipulada para o próximo ano.

Vale salientar três fatores importantes nessa análise:

1. Foi considerada uma mudança nos trens de minério, sendo que os outros trens continuam com a mesma eficiência média de acordo com o histórico;
2. Os trens TD3B estão sendo conduzidos por maquinistas em última fase de treinamento com inspetores observando e auxiliando na condução;
3. Estes valores consideram o orçamento prévio para o ano de 2009, sendo que este orçamento pode ser alterado modificando assim a eficiência energética calculada pela estatística.

Por fim, verifica-se que ações com objetivo de melhorar o indicador de eficiência energética estão sendo aplicados na Estrada de Ferro Carajás. Ações de fácil aplicação como as providências educacionais, gerenciais e operacionais como as providências de manutenção, tecnológicas e recebimento, controle e abastecimento que são mais complexas.

A busca por maior eficiência deve ser constante e ações para esse fim acontecem diariamente. Por isso algumas providências já estão sendo pensadas para os próximos anos na EFC como é apresentado nas considerações finais.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521598/CA