

4. SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÓLEO DIESEL

O consumo de óleo diesel, além de sua grande dimensão no custo, influi também no meio ambiente e na poluição do mesmo através de sua queima e por isso se torna um item de grande valor estratégico e ambiental. Estas razões justificam plenamente a necessidade do desenvolvimento de estudos e pesquisas em redução do consumo e substituição do diesel por combustíveis alternativos. Para alcançar resultados satisfatórios na melhora da eficiência energética optou-se neste trabalho separar as atuações em cinco áreas. A se deve a esfera de atuação de cada item e devido a separação que existe atualmente na Estrada de Ferro Carajás onde pode-se atuar especificamente e com autonomia em cada área citadas abaixo:

- a. Providências Educacionais e Gerenciais – **Centro de Treinamento**;
- b. Providências de Manutenção (manutenção de locomotivas) – **Setor de Manutenção**;
- c. Providências no controle, recebimento e abastecimento – **Setor de abastecimento**;
- d. Providências Tecnológicas (Biodiesel e Tecnologias) – **Engenharia**; e,
- e. Providências Operacionais – **Operação**.

4.1 Soluções Educacionais e Gerenciais

Dentro da EFC o maior item de custo, 45% do custo total (custo total é a soma do custo fixo e custo variável) em 2007 e mais de 90% do custo variável em 2007 (VALE, 2008) , é o óleo diesel e uma redução de apenas 1% de seu consumo representa um ganho significativo em valor.

Por isso, empregados da EFC diretamente ligados ao transporte como os maquinistas devem ser suficientemente treinados e informados da importância do combustível dentro do sistema ferroviário, bem como a gerência deve implementar medidas e investimentos que resultem na redução do consumo de diesel.

4.2 Soluções de Manutenção

Do correto funcionamento de alguns equipamentos da locomotiva depende a eficiência energética da mesma. Na oficina de locomotivas são mantidos, controlados e testados os superalimentadores responsáveis pela potência do motor, motores de tração, os conjuntos de força que realizam a combustão do diesel, a filtragem do ar responsável pela vazão de ar para o motor de tração, o sistema de alimentação composto por bombas e injetores e por fim, a regulação geral do conjunto motor diesel/alternador.

Dentro da manutenção, as providências tratam de dar atenção especial nos itens citados acima, itens que influenciam no consumo do combustível e na poluição do meio.

4.3 Soluções no Controle, Recebimento e Abastecimento

Neste item consideram-se os cuidados necessários com o óleo diesel desde o recebimento até o abastecimento, passando pela filtragem, centrifugação e estocagem.

Algumas providências são recomendadas para este item como no recebimento e controle do estoque deve-se utilizar medidores de vazão dando atenção a temperatura fazendo-se as devidas correções e aferindo periodicamente os medidores. Outras medidas nesse sentido são colocadas abaixo:

- a. Inspeção periódica dos tanques de estocagem, linhas de distribuição, instalações de filtragem, centrifugação e bombas;
- b. Pensando na segurança e na preservação do meio ambiente, instalar valas e reservatórios para contenção e recolhimento de possíveis vazamentos no processo de abastecimento;
- c. Controle preventivo e de vigilância para evitar desvios de óleo diesel nas instalações e ao longo da via e etc.;

4.4 Soluções Tecnológicas

Assim denominam-se as providências em que se introduz algum dispositivo, equipamento ou alterações técnicas nas locomotivas e componentes, no combustível, ou nas características da via permanente. Estas ações necessitam de investimentos, alguns de grandes valores. Alguns dos dispositivos, que têm como objetivo a redução do consumo de óleo diesel, são descritos abaixo:

- Baixo Vazio: de custo baixo, quando introduzido na locomotiva esse dispositivo reduz a rotação da “marcha lenta” e em consequência reduz o consumo em vazio (ponto 0 de aceleração).
- Economizadores: Dispositivos que aplicados nas locomotivas em tração múltipla combinam as potências entre elas de forma a reduzir o consumo. Segundo Gomes (1984) “com a utilização de economizadores em 2 locomotivas DDM's combinadas, para uma determinada potência conjunta, o consumo total de combustível é mínimo

quando as locomotivas estão em condições opostas, isto é, uma na maior e a outra na menor potência possível.”

Para reduzir o consumo de óleo diesel na ferrovia podem ser adotados equipamentos como o módulo de aumento de tração (MAT), veículo equipado com motores de tração, sem geração de potência que recebe energia das locomotivas acopladas possibilitando ao conjunto desenvolver maior força de tração a velocidades mais baixas diminuindo assim a relação Hp/ton, minimizando o consumo de óleo diesel. Outro equipamento que reduz o consumo é o trator de manobras que opera tracionando locomotivas ou vagões em manobras, e pode-se movimentar fora da via, sobre pneus.

Outras providências tecnológicas com o intuito de aumentar a eficiência energética e diminuir a poluição resultante da queima de combustível são:

- Modernização de locomotivas;
- Eletrificação da ferrovia;
- Aumento da taxa de carregamento ton.útil/ton.bruta. Na

EFC, estudos técnicos para aumentar a carga útil são realizados ano a ano. A evolução do carregamento por eixo do vagão na EFC segue a seguinte configuração no tempo:

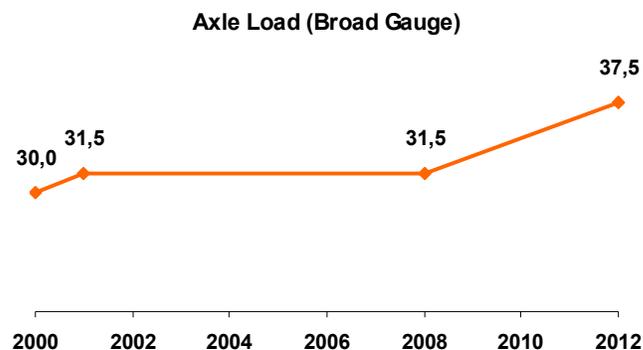


Gráfico 8: Evolução da carga por eixo do vagão na EFC

Fonte: Vale (2008)

4.4.1 Tecnologia da tração distribuída

Desde o início das privatizações no Brasil, se intensificaram as buscas por melhores resultados econômicos em toda a área de transportes, principalmente no transporte ferroviário.

A tecnologia de tração distribuída se apresenta como uma solução interessante para ganho em malhas de tráfego saturado na medida em que permite uma drástica redução no número de trens na malha em função do aumento no tamanho dos trens que circulam e transporta mais carga em um mesmo trem. Este tipo de trem é composto por uma locomotiva comandante e locomotivas comandadas espalhadas pelo trem com uma série de vagões. O princípio de funcionamento é uma locomotiva (comandante) liderando todas as outras através da comunicação que é feita por um link de rádio bidirecional e pelo encanamento geral, uma redundância para haver segurança em caso de falha.

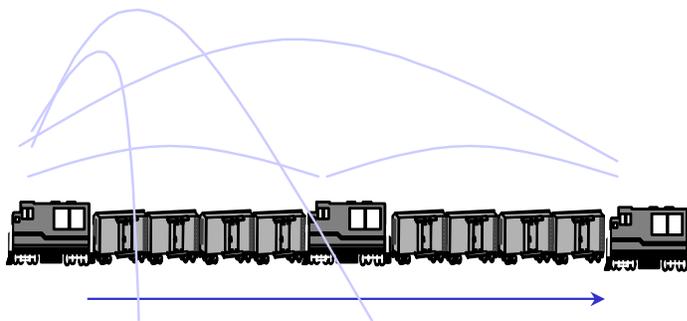


Figura 8: Trem com tração distribuída

Os ganhos inerentes à tecnologia são a economia de combustível, segundo Borba (2008) há uma economia que varia na casa de 5 a 6% no consumo de combustível da EFC, e redução de maquinistas já que o número de equipes necessárias reduz-se de forma diretamente proporcional ao número de trens simultâneos.

A economia de diesel, entretanto, depende não apenas do efeito da distribuição da tração, mas também da relação peso-potência do trem de modo que o trem pode ser mais ou menos eficiente em função destas duas variáveis. O ganho de combustível pode ser atingido por duas diferentes formas, não concorrentes:

- A possibilidade de execução de operações assíncronas nas quais o ponto é diferenciado entre a locomotiva líder e a(s) remota(s), ampliando o número de combinações possíveis para se atingir a potência exigida pelo trecho. Claramente, a eficiência desta abordagem depende em grande parte das características de perfil da via;

- Em trechos sinuosos de curvas fechadas, a distribuição da tração reduz o esforço lateral no sentido interno à curva - o chamado "efeito corda" - já que uma de suas componentes é a projeção transversal dos esforços longitudinais aos vagões na curva que é tanto maior quanto maior for a concentração de potência e menor for o raio da curva. Ao reduzir-se a resistência em curvas, melhora a dinâmica do trem com conseqüentes melhorias no consumo e tempo de marcha.

Deve-se considerar também o fato de que a tração distribuída implementa a segurança na medida em que as curvas de frenagem e os tempos de recobrimento são reduzidas pois os blocos intermediários de vagões recebem a pressurização no encanamento pelas duas extremidades.

4.5 Soluções Operacionais

São aquelas que alteram processos, métodos e parâmetros, sem a introdução, necessariamente, de nova tecnologia. No intuito de aperfeiçoar os processos e aumentar a eficiência energética ações operacionais são tomadas nas seguintes situações:

- o Locomotivas em trens de socorro;
- o Locomotivas em trens de passageiros;
- o Locomotivas em manobras, e;
- o Locomotivas em trens de carga.

Segundo Gomes (1984) “o consumo de óleo diesel em uma ferrovia de carga segue em geral a seguinte proporção:”

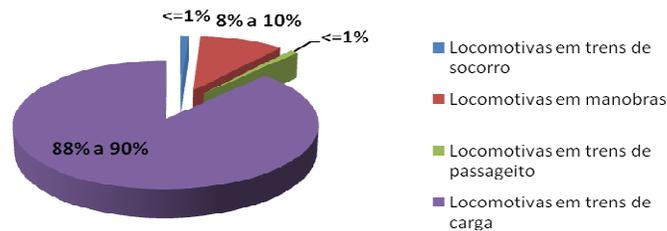


Gráfico 9: Proporção do consumo de óleo diesel por atividade de locomotivas

Fonte: Gomes (1984)

4.5.1 Locomotivas em Trens de Serviço

Denominam-se assim os trens para transporte de materiais para construção ou manutenção da linha, tais como brita, trilhos, dormentes e trens-socorro. Participam também com menos de 1% do consumo total, e por isto dispensam maiores atenções.

4.5.2 Locomotivas em Trens de Passageiros

A participação no consumo da ferrovia nesta aplicação é inferior a 1%. Utilizam-se locomotivas de baixa potência pela baixa demanda de força e para a otimização dos trens de passageiros.

4.5.3 Locomotivas em Manobras

As solicitações das locomotivas em manobras são bastante variáveis, daí a dificuldade de estabelecer processos rígidos com o objetivo de aumentar a eficiência energética. Providências nesse sentido são listadas abaixo:

- Racionalização das manobras, com o objetivo de determinar o número mínimo de manobras em pátios e terminais;
- Evitar o uso de locomotivas com excesso de potência em manobras. Locomotivas são mais eficientes do ponto de vista energético quando em plena capacidade;
- Monitorar e padronizar a atuação conjunta do controle, operadores, maquinistas e manobreiros;
- Utilizar locomotivas específicas de manobra de baixa relação potência/peso (HP/ton). Segundo Gomes (1984) “as locomotivas específicas de manobras apresentam relação potência/peso entre 8.0 e 15.0 e têm como características principais a baixa velocidade, baixa potência e um alto esforço de tração.”
- “Evitar que as locomotivas fiquem grande tempo trabalhando em “vazio” (motor em marcha lenta). Em locomotivas de manobras recomenda-se parar o motor diesel quando se espera que a locomotiva fique sem manobra durante 30 minutos” (GOMES, 1984). Uma locomotiva parada com motor funcionando, em vazio (ponto 0 de aceleração), consome em média 20 litros de combustível no intervalo de uma hora. Dessa forma, é recomendável desligá-la quando não houver atividade

programada, como por exemplo em intervalos de manobras, carregamentos, longas paradas no trecho.

- Uma outra providência é acoplar a cada locomotiva um módulo de aumento de tração (MAT), veículo com motores de tração. Com o MAT a relação potência/peso diminui e o conjunto passa a ter características específicas para manobras.

4.5.4 Locomotivas em Trens de Carga

Considerando que o consumo de diesel em trens de carga é cerca de 90% do consumo total da ferrovia, é neste campo que se devem concentrar os esforços e onde os resultados são mais significativos. Os parâmetros operacionais que podem ser considerados em um estudo para o aumento da eficiência energética são citados e explicados abaixo:

Potência e peso aderente das locomotivas

Destes dois fatores depende a capacidade de transporte da locomotiva. A potência determina a velocidade e aceleração, e conseqüentemente o ciclo do trem. A potência admissível nos motores de tração limita também a capacidade de reboque da locomotiva. Segundo Gomes (1984) “a parcela do peso que pode ser transformada em força de tração varia de 22% a 30% dependendo das condições da linha (seca, úmida, com graxa, areia e etc.), é definida como peso aderente que é o principal limitador da capacidade de reboque”. A relação entre potência e o peso aderente determina a classe de serviço que a locomotiva deve testar.

Tabela 12: Relação Potência/Peso e classe de serviço

Hp/ton	Aplicação
8 a 15	Serviço de manobra
15 a 25	Serviço geral, trens de carga
Mais de 25	Trens de passageiros e de carga de alta velocidade

Uma escolha inadequada da relação potência/peso aderente influencia negativamente o consumo de combustível. O excesso de peso aderente é peso morto que consome combustível, e o excesso da potência leva o motor diesel a trabalhar em regime de baixa eficiência.

Redução da velocidade máxima da linha

A resistência do trem, segundo DAVIS é uma equação do segundo grau em função da velocidade, ou seja, a resistência é influenciada pela velocidade pelo quadrado da velocidade. (BORBA, 2006 apud DAVIS, 1934)

$$R_{TREM} = AV^2 + BV + C \quad (\text{Eq. 07})$$

Segundo Gomes (1984) “uma redução da velocidade máxima de 60 para 40 Km/h reduz aproximadamente 35% da resistência do trem em nível e tangente, não se considerando as resistências em rampas e curvas, que mantêm certa proporcionalidade com a carga, independente da velocidade”. A aplicação da redução da velocidade máxima apresenta as seguintes vantagens:

- De fácil aplicação, bastando orientar e controlar a operação dos maquinistas;
- Reduz os riscos de acidentes;
- Reduz os desgastes de componentes das locomotivas, que passam a ser menos solicitados;
- Reduz o desgaste de rodas e trilhos.

Como desvantagens têm-se:

- Aumento do ciclo do trem, e em consequência aumento do número de vagões e locomotivas necessários para um mesmo programa de transporte. Deve-se analisar na ferrovia a ociosidade do material rodante e da capacidade instalada;
- Provável aumento de horas extras dos maquinistas, em consequência do aumento do ciclo do trem.

Peso do trem

É composto em duas parcelas:

- Peso próprio;
- Peso de carga útil.

Neste item, em curto prazo, o que se pode fazer para aumentar a eficiência energética é maximizar a taxa de carregamento dos vagões (ton útil/ton bruta). Para vagões de carga geral o problema é de difícil equacionamento, pois o carregamento de carga geral não depende da empresa e sim dos usuários da ferrovia com uma grande variedade de cargas quanto à forma, densidade e etc. A seguir são apresentados a quantidade e tipo de carga transportada na EFC no ano de 2007:

Tabela 13: Tipo de carga e Quantidade (Ton) transportada na EFC em 2007

MINÉRIO	MINÉRIO EXPORTAÇÃO	85.869.393	85,6%
	MINÉRIO IMPORTAÇÃO	7.346.857	7,3%
C.GERAL	GUSA	3.334.841	3,3%
	MANGANÊS	1.156.310	1,15%
	SOJA	1.231.034	1,23%
	COMBUSTÍVEIS	720.798	0,72%
	BEBIDAS	13.524	0,01%
	FERTILIZANTES	10.493	0,01%
	DIVERSAS	139.464	0,14%
	AREIA	29.083	0,03%
	COBRE	429.517	0,43%
	OUTROS	PASSAGEIROS	28.672

Relação entre potência e peso do trem

A relação Hp/ton do trem de carga influencia sensivelmente o consumo de combustível. A redução da relação Hp/ton do trem obriga as locomotivas a operarem mais tempo à plena carga, regime no qual são mais eficientes quanto ao consumo de combustível. Uma outra forma de reduzir a relação Hp/ton é fazer planos de utilização da potência por trechos da linha de acordo com o perfil:

- Em trechos críticos utilizar potência total e quando não for possível a potência total usar auxílios de Helpers (locomotivas cuja única função operacional é auxiliar os trens a subirem os longos trechos com aclive acentuado);
- Operar com o mínimo de Hp/ton nos trechos favoráveis;
- Utilizar potência reduzida em trens de carga vazios, com possível desligamento de locomotivas;
- Usar dispositivos que provoquem a redução da potência, manual ou automaticamente em trechos determinados.

As vantagens da redução da relação Hp/ton sem redução da velocidade máxima são:

- Redução do consumo de combustível;
- Menor frota de locomotivas para o mesmo programa de transporte.

Como desvantagens tem-se:

- Maior solicitação das locomotivas e conseqüentemente um incremento dos problemas de manutenção;
- Maior ciclo de viagem.

Paradas e arrancadas dos trens

As paradas dos trens devem ser evitadas sempre que possível, e principalmente com trens carregados em trechos com rampas

ascendentes, pois nessa situação, acontecem os seguintes inconvenientes em uma ferrovia:

- Aumento do consumo de combustível para arrancar e acelerar o trem;
- Aumento do consumo de combustível decorrente do trabalho do compressor, para a reposição do ar consumido na frenagem;
- Aumento dos problemas com motores de tração, que nas arrancadas são submetidos a piores condições de corrente e temperatura;

O centro de controle dos trens de uma ferrovia deve sempre tomar providências no sentido reduzir a um mínimo indispensável o número de paradas dando sempre preferência aos trens carregados.

De acordo com pesquisa da American Association of Railroad (AAR), um trem típico com quatro locomotivas de 3000HP consome de 56 a 115 litros de combustível em cada parada, dependendo do perfil da linha no local em que esta ocorrer. A mesma AAR indica que acelerar o trem lentamente não produz economia de combustível. O procedimento para acelerar da parada até a velocidade máxima permitida deve ser feito tão rapidamente quanto a boa operação permitir.

Frenagem do trem

Existem dois tipos de freio: o pneumático e o dinâmico. O pneumático aplica as sapatas nas rodas do vagão pela ação de ar comprimido, e o dinâmico utiliza os motores de tração que passam a funcionar como geradores reagindo ao movimento.

Sob o ponto de vista de economia de combustível, o uso do freio dinâmico não é recomendado. Entretanto, o alívio do freio pneumático não é instantâneo como acontece com o freio dinâmico, e se o maquinista reaplicar potência na locomotiva no ponto 3 de acelerador ou acima, antes que o freio pneumático esteja totalmente aliviado, o consumo de combustível nestas condições pode ultrapassar o consumo em freio dinâmico. Sob o ponto de vista de economia global, a operação com freio dinâmico ou a operação mista é preferível

porque o desgaste das sapatas dos vagões ultrapassa o valor do diesel economizado. (GOMES, 1984).

Velocidade restrita para manutenção da via permanente

Ainda que estas reduções não possam ser evitadas, é possível racionalizá-las. Toda redução temporária de velocidade localizada no pé de rampa ascendente ou sobre ela, principalmente para trens carregados, deve receber alta prioridade da via permanente para correção e remoção da restrição.

Matriz de Priorização

Baseada em outras matrizes de priorização e para conhecer os fatores que devem-se ser aplicar devido sua importância, facilidade na aplicação e o custo o autor criou a seguinte matriz de priorização:

Tabela 14: Matriz de priorização para os itens que influenciam na eficiência energética

Matriz de Priorização	APLICAÇÃO NA FERROVIA	MELHORIA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	CUSTO	TOTAL
Redução da velocidade máxima da linha	3	9	9	21
Paradas e arrancadas dos trens	9	1	9	19
Velocidade restrita para manutenção da via permanente	3	3	9	15
Peso do trem	3	9	1	13
Frenagem do trem	1	1	9	11
Relação entre potência e peso do trem	3	3	3	9

9 – Fácil

3 - Moderado

1 - Difícil

0 - Muito Difícil

9 - Muito

3 – Moderado

1 – Pouco

0 - Muito pouco

9 – Baixo

3 – Médio

1 – Alto

0 - Muito Alto

Fonte: Autor (2009)

Segundo a matriz o item que mais influencia na eficiência energética é a redução da velocidade máxima devido sua grande influência na melhoria do indicador e o baixo custo da ação. Vale salientar que os resultados acima são retirados da percepção do autor.

No próximo capítulo é apresentado a importância dos indicadores que são relacionadas às ações acima para uma ferrovia bem como a influência dos mesmos em relação ao indicador de eficiência energética.