



AEAMESP



21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, 2º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS.

CATEGORIA 3

TÍTULO: OPERAÇÃO OTIMIZADA DE TRENS

INTRODUÇÃO

A constante demanda por melhoria em nossos números de eficiência energética foi o principal motivo para desenvolver um modelo mais arrojado e refinado de operação de trens, que foi feito através de um treinamento ministrado a maquinistas, lançando em perspectiva o tema tão aclamado no mundo moderno: “Economizar combustível!” Assim nasceu o curso: Operação Otimizada de Trens, ministrado através de simuladores de Trens.

Embora este tenha sido sempre um tema bem explorado em nossa área de competência, e através de treinamentos ministrados principalmente a maquinistas, o tema foi sempre recorrente nos exercícios utilizando simulador para treina-los, trabalho que já vem sendo realizado desde 2001, no entanto, este novo treinamento trouxe uma abordagem mais efetiva sobre o tema, tendo sido estruturado e elaborado com o planejamento de um curso mais focado neste aspecto. E com a ajuda do próprio campo, a operação de trens, indicou suas principais deficiências e participou efetivamente nesta elaboração, o que contribuiu para culminar por fim em um módulo prático de operação de trens que produziu tanto nos elaboradores, quanto nos



AEAMESP



participantes que o experimentou, a sensação que ainda tínhamos muitas oportunidades de enxugar ainda mais o consumo de combustível.



AEAMESP



DIAGNÓSTICO

O diagnóstico desta necessidade veio por intermédio do retorno contínuo do campo, que em resposta aos constantes desafios propostos pelas metas de eficiência energética, queriam encontrar métodos que melhorassem ainda mais os números ora praticados.

Na fase de preparação do curso, e mesmo durante a realização dos primeiros treinamentos, foi percebido quão extenso poderia ser os positivos resultados caso o método fosse efetivo e aplicado por toda a operação. Esse sentimento também ficou muito nítido para todos os participantes.

A eficiência energética hoje se traduz por um modo operacional que permita produzir um mesmo resultado, porém com menores recursos energéticos. E aplicando este índice à ferrovia, temos então que:

$$EE = \left[\frac{\textit{litros}}{\textit{toneladabruta} \times \textit{quilômetro} \times 10^{-3}} \right] = \left[\frac{\textit{litros}}{\textit{ktkb}} \right]$$

Isto significa a quantidade de litros de óleo gastos para o deslocamento de uma tonelada para cada quilômetro. Este é também um índice muito utilizado pelas ferrovias norte americanas, embora seu cálculo seja o inverso do utilizado no Brasil, ou



AEAMESP



seja, a equação exibe quantas toneladas de produto foram transportadas por milhas/galões de combustível.

O modelo empregado neste novo módulo explorou nos diversos momentos cruciais da operação de trens, principalmente onde, pelas características do local e da própria operação em si, produzem significativa diferença no consumo de combustível conforme a estratégia operacional empregada. Por isso, os principais momentos da operação explorados foram:

Exercício	Conceito exercitado
Exercício 1	Correta arrancada de um trem tendo em vista o tempo de <u>alívio dos freios</u> ;
Exercício 2	Parada em local que favoreça arrancada, e ao mesmo tempo <u>aproveitando inércia</u> anterior do trem;
Exercício 3	Procedimento seguro e econômico de realizar parada e <u>retomada de aceleração</u> na região do SAG (comumente chamada de bacia);
Exercício 4	Importância do <u>balanceamento</u> dos trens na região do sag, aliviando criteriosamente o freio automático antes do vértice da depressão;
Exercício 5	Influência de paradas indesejáveis resultando em excesso de consumo e prejuízos no comportamento dinâmico dos trens;
Exercício 6	Maneira correta e econômica de proceder a <u>virada de crista</u> ;
Exercício 7	Benefícios da parada de um trem em perfil plano com os engates encolhidos. Demonstrado



AEAMESP



	em perfil didático no plano horizontal perfeito e sem curvas;
Exercício 8	Procedimento racional e econômico de <u>parada</u> para trens descendo acima da RH 28 (<u>perfil ondulado</u>), retratando outros locais semelhantes;

O diferencial deste novo treinamento foi essencialmente adotar uma estratégia de utilizar o simulador para mostrar em exercícios rápidos, uma operação custosa energeticamente, e imediatamente, utilizar no mesmo trecho de via outra operação mais econômica. Nesta demonstração, alguns cálculos são realizados com o intuito de valorizar cada litro de óleo economizado, mostrando que se aquela estratégia for aplicada no número estimado de vezes em que ocorre no cenário real de um trem, os valores são muito elevados. Além de comprovar os números na diferença de consumo, aplicamos uma instrução logo em seguida fundamentada na física para explicar a diferença, realçando principalmente a melhor utilização da energia cinética e potencial.

Partimos com isso da premissa de que “convencer” é ainda o melhor incentivador de uma boa prática. Este raciocínio direcionou a escolha dos exercícios e a maneira como seriam colocados e comentados com cada turma que viesse para participar.

Interessante comentar que o modelo não emprega nenhuma operação desconhecida ou de difícil execução por parte do operador, mas apenas os orienta a manipular criteriosamente o acelerador, levando em conta as características do trem, do trecho em questão, tipo de locomotivas, e principalmente a tática de utilizar bem as energias cinética e potencial, tudo sem perder o tempo em que isto se aplica na sua inteireza,



AEAMESP



ou seja, o momento da aplicação da estratégia é curto, e logo é preciso atenção e motivação para sua aplicação.

A cada turma, sentíamos manifestações de estímulo ao modelo prático de aprender, bem como expressões de admiração aos valores medidos de consumo nos exercícios testados durante o treinamento.

Mais tarde ficou claro a necessidade da participação de inspetores de tração, controladores de CCO e inspetores de CCP junto com os maquinistas. Certamente, esta integração traria a grande constatação de que muitos dos processos da própria operação de trens eram desconhecidos pelos controladores de CCO e inspetores de CCP, de modo que a participação multidisciplinar neste treinamento trouxe conhecimentos e acertos recíprocos aos participantes. O grande benefício disso foi uma maior e melhor interface operacional que certamente resultará em:

- Número menor de paradas desnecessárias;
- Seleção mais ativa dos melhores pontos de parada de trens;
- Melhor administração dos tempos de percurso dos trens em função de possíveis paradas a frente;

Um ponto extremamente positivo deste treinamento foi que, na medida em que alguns números foram sendo divulgados, desencadeou uma ideia contagiante de buscar melhores índices de eficiência energética.



AEAMESP



Durante os vários exercícios realizados no simulador não deixam dúvidas para os participantes que um esforço conjunto de todas as áreas envolvidas se faz necessário a fim de tornar possível o empenho de alcançar o sucesso. Por exemplo, caso um trem seja conduzido por um experiente, aplicado e bem treinado maquinista, contudo durante a viagem ocorrer várias paradas, sendo algumas em locais cuja arrancada seja em rampa, desfavorecendo o seu movimento inicial, pode-se nesta circunstância ainda dizer que houve eficiência energética no trem? Sim, ainda houve economia! No entanto, o que o maquinista conseguiu economizar poderá ser gasto nos momentos de elevada demanda de esforço trator, que é quando a locomotiva normalmente mais queima combustível caso isto se repita muitas vezes.

Outras condições também impõem pesadas influências no fechamento mensal da eficiência energética, algumas destas são:

- Elevada incidência de precauções de velocidade no trecho;
- Problemas de sinalização e licenciamento;
- Desempenho da malha ferroviária;
- Uso de lubrificantes em curvas de raio apertado (seu uso favorece a eficiência energética);
- Características da via permanente quanto a percentuais de inclinação ou raio de curvatura da via;
- Modelo de locomotivas;
- Características do sistema de freios dos veículos;



AEAMESP



- Qualidade da manutenção dos vagões e locomotivas e da via permanente;
- Qualidade e quantidade de treinamento aos empregados envolvidos direta e indiretamente na operação de trens;

Desta forma, o treinamento faz campanha por sí mesmo de tudo que contribui para melhorar o índice de eficiência, e naturalmente isto significa envolvimento de todas as áreas, que passam a enxergar formas de agregar esforço.



AEAMESP



ANÁLISE DOS RESULTADOS

À medida que desenvolvemos e dominamos os maiores gargalos ou grandes elementos que dificultam nossos objetivos, precisamos avançar para os que são menores ou que por representação numérica são menos significativos, mas ainda assim contribuem enormemente no final. No passado, a atenção era para estes grandes gargalos, mas e os menores? Este talvez tenha sido o grande ganho da operação otimizada em alguns dos momentos da condução do trem, cujos métodos propomos no curso de operação otimizada, mesmo quando o volume de óleo diesel economizado em determinada operação é de apenas 1(um) ou 2(dois) litros de diesel. Assim, é prudente então indagar:

- Quantas vezes tal operação é repetida ao longo da viagem de um único trem?
- Quantos trens circulam em um único dia?
- Quantos trens circulam em 30(trinta) dias?
- E em 1(um) ano?

Um dos exemplos aplicados durante o treinamento de Operação Otimizada de Trens reflete em 6 litros de óleo na diferença de consumo para cada operação, e supondo que esta se repita por 5 vezes durante o trajeto e se considerarmos um dia com média de 30 trens em circulação teremos:

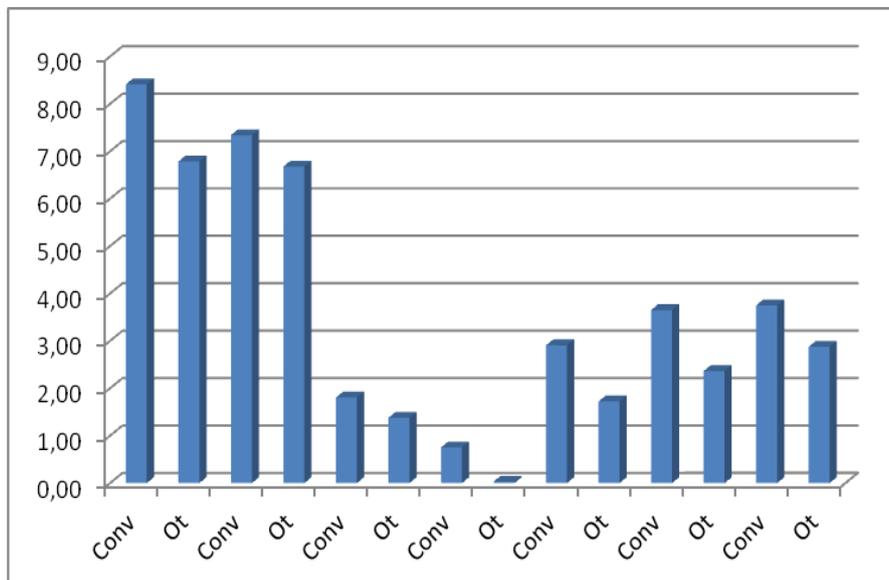
Exemplo de uma média de 30 trens/dia		
Nºde Trens/dia/mês/ano	Repetição da operação x trens	Repetição x trens x litros (litros)
1 Trem x 1dia	5 x 1	5x6 = 30 (litros/trem)
30 trens x 1dia	5 x 30	150 x 6 = 900 (litros/dia)
30 trens x 30 dias	5 x 900	4500 x 6 = 27000 (litros/mês)
30 trens x 365 dias	5 x 10.950	54.750 x 6 = 328.500 (litros/ano)

Lembrando que a tabela acima ilustra apenas uma operação cujo consumo otimizado apresente uma economia modesta de 6 litros de óleo, todavia há outras que chegam a apresentar valores tão significativos quanto 40 litros de óleo ou mais.

Abaixo temos uma tabela apenas representativa de uma única turma de treinamento, mas que ajuda a confirmar o assunto em colocação.

Operação otimizada de trens em simuladores							
Operação: Convencional/otimizada	Peso bruto do trem (ton)	Exercício	Distância (m)	Duração da operação	Consumo (L)	Percentual de economia (%)	Índice de eficiência energética (L/KTKB)
Convencional	7.147	1	800	08:43	48,1	23,97	8,41
Otimizada	7.147	1	800	06:57	38,8		6,79
Convencional	14.345	2	2.100	06:21	221,1	9,89	7,34
Otimizada	14.345	2	2.100	06:20	201,2		6,68
Convencional	14.345	3	6.000	08:15	155,3	31,05	1,80
Otimizada	14.345	3	6.000	07:06	118,5		1,38
Convencional	15.700	4	4.827	06:25	57	2490,91	0,75
Otimizada	15.700	4	4.827	06:20	2,2		0,03
Convencional	14.345	5	5.700	15:53	237,7	65,88	2,91
Otimizada	14.345	5	5.800	10:52	143,3		1,72
Convencional	14.345	6	2.600	09:01	136,1	54,48	3,65
Otimizada	14.345	6	2.600	09:50	88,1		2,36
Convencional	14.345	7	900	02:36	48,4	30,46	3,75
Otimizada	14.345	7	900	03:26	37,1		2,87

Visto em gráfico, a ideia fica ainda mais clara, sobretudo se consideramos um grande volume envolvido. O gráfico compara o índice de eficiência energética entre os dois modelos, o convencional e o otimizado. (Em valor absoluto, quanto menor, melhor).





AEAMESP



A confirmação do sucesso do treinamento foi constatada também através de amostragens, em que medições realizadas de consumo de combustível comparando o antes e depois do treinamento mostraram valores surpreendentes e que convenceu a todos os envolvidos do sucesso da ação. Certamente tais valores, nem são tão precisos, mas qualitativamente são suficientes para comprovarem que o modelo otimizado de operar um trem faz a diferença no final de um período.

Exemplo real			
Antes		Depois	
Trem	M446 de 08/05	Trem	M396 de 01/10
Dados	168 vag. e 16351 t.	Dados	170 vag. e 16476 t.
Consumo	4514 litros	Consumo	4212 litros
Ganho de Eficiência Energética: 302 litros			

Os números apresentados nas tabelas anteriores podem ser compreendidos e aceitos em especial se o leitor conhecer os parâmetros de consumo de uma locomotiva.

Segue abaixo uma tabela cujos valores servem apenas como uma referência, visto que não retratam valores rigorosamente exatos devido ao sistema de medição empregado, além do fato do consumo de uma locomotiva sofrer variações em um mesmo ponto de aceleração sob as seguintes variáveis:

- Definição da linha de carga e esforço trator instantâneo;
- Altitude da região (maior altitude, maior consumo);
- Características do óleo combustível;
- Temperatura ambiente;

Tabela de consumo de locomotivas (L/h)												
Item	Dash 9	Dash 8	BB36	DDM	DDM MP	SD 45	SD 40-2	GT26 MP	GT26 MP	GT26	G16	G12
Ponto 8	719,57	777,14	701,17	869,08	838,90	869,08	761,11	734,68	761,11	676,13	495,51	354,30
Ponto 7	607,28	655,86	591,76	768,28	715,45	768,28	638,37	594,47	638,37	587,84	416,08	297,46
Ponto 6	497,02	536,78	484,31	568,93	532,67	568,93	477,99	447,53	477,99	437,45	332,22	236,50
Ponto 5	387,19	418,16	377,29	410,80	407,72	410,80	358,83	356,14	358,83	318,51	258,44	187,13
Ponto 4	271,56	293,28	264,62	302,38	322,12	302,38	254,00	270,58	254,00	230,62	191,51	140,53
Ponto 3	191,80	207,14	186,90	214,13	244,72	214,13	172,47	197,11	172,47	166,92	132,24	93,54
Ponto 2	87,82	94,84	85,57	125,88	137,23	125,88	104,38	113,79	104,38	100,39	71,77	53,76
Ponto 1	42,51	45,91	41,42	43,90	36,39	43,90	49,73	41,21	49,73	36,69	31,45	22,03
Idle			14,33	26,88		26,88	23,29			22,17	18,55	13,46
High Idle	14,71	15,88			26,88			23,29	23,29			
Low Idle	10,63	11,48			21,58			18,37	17,92			
Dinâmico				111,99		111,99	81,53			84,67	60,48	40,57
D1	14,71	15,88	14,33		102,76			74,81	81,53			
D2	22,17	23,94	21,60		102,76			74,81	81,53			
D3	34,89	37,68	34,00		102,76			74,81	81,53			
D4	50,89	54,96	49,59		102,76			74,81	81,53			
Potência	3990	3990	3600	3600	3600	3600	3000	3000	3000	2700	1800	1310
Motor	7 FDL 16	7 FDL 16	7 FDL 16	20-645E3	20-645E3B	20-645E3	16-645E3	16-645E3B	16-645E3	16-645E3	16-645E3	16-645E3

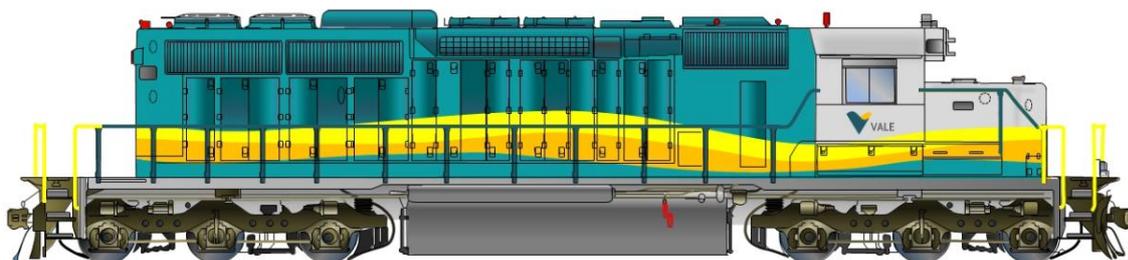
Algumas curiosidades e esclarecimentos sobre este assunto são comentadas em nossos treinamentos, tais como:

- Quantos litros de óleo são consumidos na partida de uma locomotiva Dash 9?

Resposta: Cerca de 330 ml de óleo diesel.

Aplicação: Sabendo-se que o consumo para partida é baixo, deve-se portanto evitar manter Locomotivas ociosas ligadas em pátios de manobra ou enquanto aguardam liberação. Devem ser desligadas!

- Um locomotiva DDM consome cerca de 240ml de óleo por segundo em plena carga. Isto equivale ao conteúdo de um copo e uma xícara comum utilizados para tomar água e café respectivamente;
- Algumas locomotivas comportam até 15.000 litros de óleo combustível, devendo ser reabastecida a cada viagem de ida a mina;
- Embora o consumo de uma locomotiva pareça muito elevado, na verdade a mesma tem uma eficiência energética muito melhor que a de um automóvel de passeio;
- O modal ferroviário sofre uma resistência de rolagem cerca de 10 vezes menor do que o modal rodoviário;





AEAMESP



CONCLUSÕES

Conclui-se a premente necessidade da continuidade e ações de fomento a treinamentos dessa natureza, visto que além de aumentar o conhecimento dos envolvidos que passam a aplicar em sua rotina métodos, dos quais nenhum deles tem dúvidas dos benefícios, trazem os ganhos tangíveis almejados pela empresa. Ganhos que são comprovados por medições e por atingimento de metas antes imbatíveis.

Certamente, não podemos e nem devemos crer que um efeito poderoso se atinge tão somente por uma única ação. Conforme comentado em tópicos anteriores, uma ação conjunta de várias áreas envolvidas é que determinarão se os resultados se frutificarão.

Possuindo a tecnologia que favorece não só a implementação de modelos eficazes de treinamento como este que utiliza simuladores de trens, e que este, ao passo que auxilia na habilidade do instrutor em convencer o treinando, precisamos continuamente olhar para o futuro, buscando todo o conjunto que coopere com o objetivo de sermos uma ferrovia não só segura, mas eficiente energeticamente.



AEAMESP



AUTORES:

Eustáquio Alves de Andrade, técnico e instrutor de Operação de trens na empresa VALE. Tem 30 anos de ferrovia, foi maquinista por 17 anos e já exerce a função de instrutor por 13 anos, e é cursando de Eng de produção.

Elvânio Antônio Pereira Júnior, Engenheiro de Produção formado na UFMG em 2010 com Pós Graduação em Engenharia Ferroviária na Univix em parceria com a Vale (2011) e MBA em Gestão de Projetos pela FGV (2014). Foi admitido na Vale em Santa Bárbara em Agosto de 2010. Está há três anos na Operação Ferroviária da EFVM.

Fábio Luis Maciel Machado, técnico em mecânica pelo IFES, cursando de Engenharia Civil e Logística. Ingressou na Vale em 1998 exercendo os cargos de Oficial de Manobra, Maquinista de Pátio, Maquinista de Viagem, Inspetor de Tração. Hoje atuou na Engenharia de operações com estudos voltados à operação de trens, dinâmica ferroviária, procedimentos, análises de eficiência energética.



AEAMESP



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nenhum item referenciado