

# TRILHOS: EFICIÊNCIA E NOVOS RUMOS



## Redução da variabilidade na operação do trem para melhorar a eficiência energética: um estudo de caso

Pedro Sena

Fernanda Deltrégia

César Toniolo

# Mini curriculum

- Pedro Sena é Engenheiro de Produção formado pela UFMG, com especialização em Engenharia Ferroviária pela PUC-MG. Atua há 8 anos no segmento ferroviário, dos quais a maior parte dedicada ao CCO e a Engenharia de Operações.
- Fernanda Deltrégia é Engenheira Civil formada pela UNESP, com especialização em Transporte Ferroviário de Cargas pelo IME. Atua há 14 anos no segmento ferroviário, dos quais a maior parte dedicada à liderança de projetos de inovação tecnológica na área de operação de trens.
- César Toniolo é Engenheiro Eletricista formado pela UFES, com especialização em Engenharia Ferroviária pela PUC-MG. Atua há 13 anos no segmento ferroviário, dos quais a maior parte dedicada à manutenção e planejamento de Via Permanente.

# Introdução



- Brasil é um dos maiores exportadores de soja do mundo
- Condições da infraestrutura brasileira de transporte e logística:
  - Impactam fluxo produção agrícola
  - Dificultam competitividade
- **Distribuição** inadequada da rede
- Elevado **custo** logístico

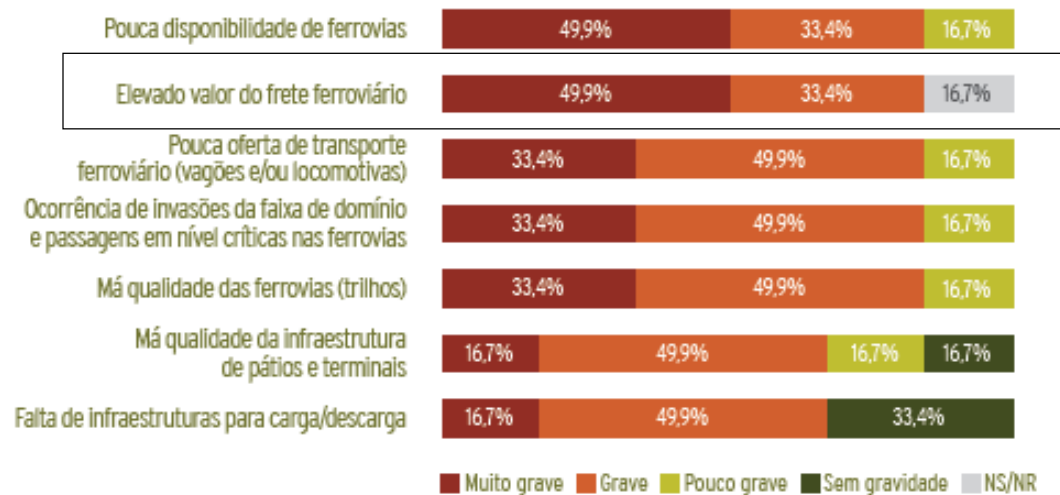
Alternativa: **umentar participação de ferrovias** na matriz de transporte de cargas

# Introdução

- Avaliação dos problemas associados ao transporte ferroviário pelos embarcadores entrevistados

## COMO REDUZIR O VALOR DA TARIFA DE FRETE?

Gráfico 13 - Avaliação dos problemas associados ao transporte ferroviário pelos embarcadores entrevistados



Fonte: CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Transporte & Desenvolvimento: Entraves Logísticos ao escoamento de Soja e Milho. Brasília, 2015.

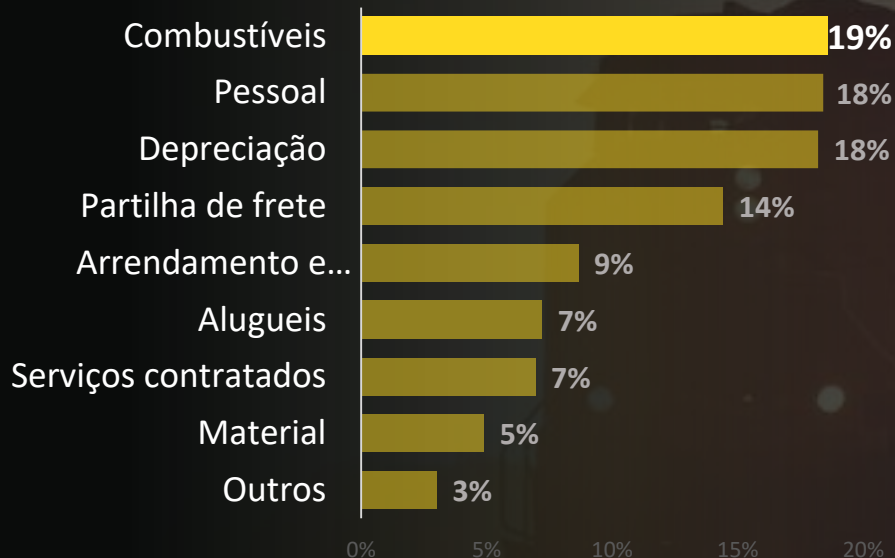


# Introdução

- A VLI quer aumentar a participação neste mercado!
- Foco: aumento da produtividade (para reduzir os **custos operacionais**) – aumento da competitividade



# Introdução



Maior custo da cia

**R\$ 450 MM**

REAL 2017 (FCA+FNS)

**90%**

GASTO VARIÁVEL

Fonte: Demonstrações Financeiras encaminhadas à ANTT, referentes ao exercício encerrado em 31 de dezembro de 2017. Brasília, 2017. FCA e FNS

- Controlar o consumo de combustível de trens permite oferecer uma melhor tarifa de frete aos clientes

# Introdução

- Melhora de **26% nos últimos 7 anos** (FCA+ FNS);
- Se comparadas às ferrovias americanas verifica-se que **ainda existe espaço para melhoria**
- Avaliando as **melhores práticas** de ferrovias nacionais e internacionais, existem diversas ações que podem ajudar a reduzir o consumo de combustível, principalmente na operação de trens





# Introdução



## ➤ Objetivo principal:

- avaliar a **operação atual do maquinista da VLI** para identificar oportunidades de redução no consumo de combustível de locomotivas

## ➤ Hipótese:

- alta variabilidade de operação entre maquinistas, que **se reduzida** pode levar a um grande **impacto no consumo de combustível**



# Estruturação do trabalho

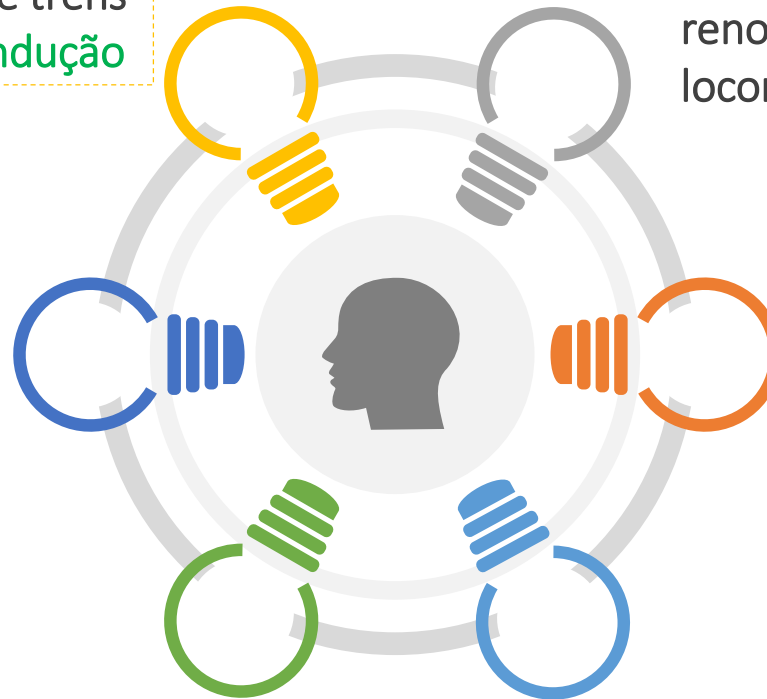
1. Avaliação de **melhores práticas** aplicadas por outras ferrovias e sugestão de práticas para sustentar a redução da variabilidade na operação de trens
2. Análise de **dados históricos** de maquinistas
3. Teste de **hipóteses acerca da variabilidade** na operação de trens
4. **Seleção dos segmentos** com alta variabilidade
5. Estimativa de **potencial de redução** no consumo de combustível
6. **Avaliação financeira** para uma rota específica

# Práticas gerais aplicadas por ferrovias

Operação e despacho de trens  
**Sistemas assistentes de condução**

Modernização ou  
renovação de frotas de  
locomotivas e vagões

Outras tecnologias  
Top-of-rail (TOR)  
lubrificantes, Tração  
distribuída, freio  
eletropneumático



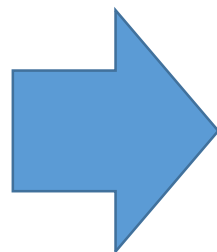
Redução do tempo  
do motor em marcha  
lenta "Stop-Start"

Motores híbridos

Combustível

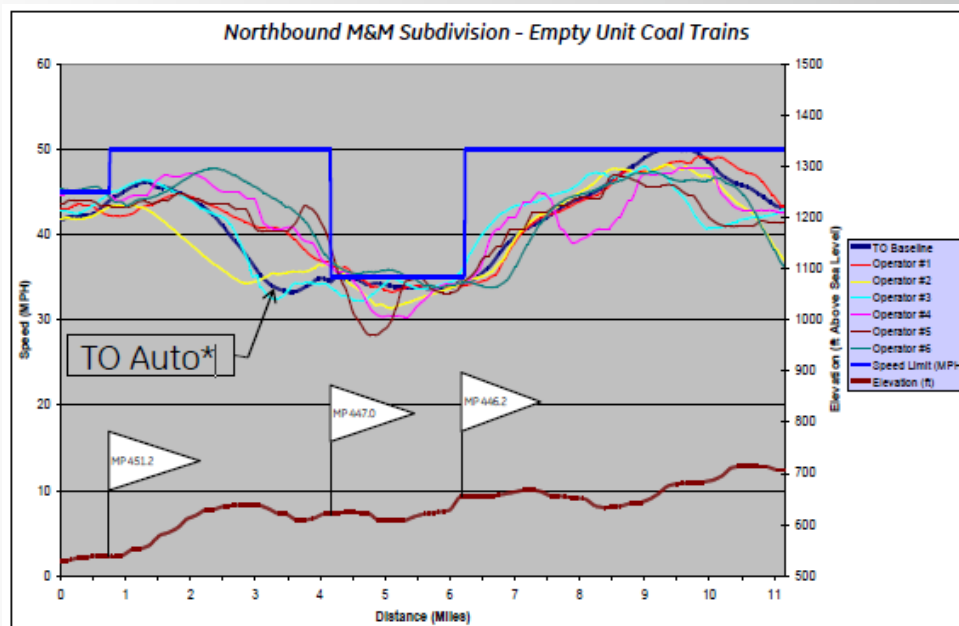
# Foco na operação de trens

Diversas variáveis externas dificultam condutores definirem melhor operação



Variabilidade de 12–20% no consumo (mesma rota)

Fonte: STODOLSKY, F. Railroad and locomotive technology roadmap. Center for Transportation Research, Energy systems Division, Argonne National Laboratory, USA, 2002.



Variações do trem e do condutor resultam em:

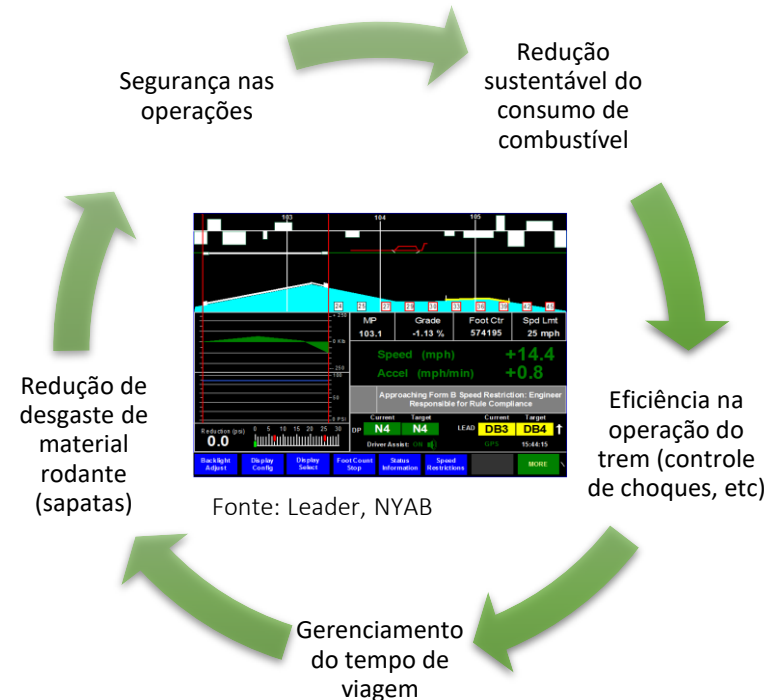
- Uso do combustível menor pior que o ideal
- Emissões mais elevadas
- Variações do tempo de viagem
- Desgastes

Fonte: Trip Optimizer Overview and What's New. Digital Solutions Summit 2017



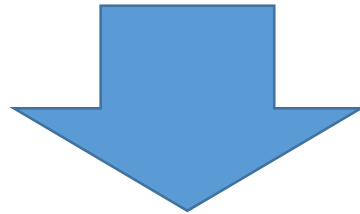
# Sistemas assistentes de condução

- Sistema inteligente, embarcado na locomotiva
- Utiliza informações do trem e do perfil de via da rota a percorrer para calcular um **plano de condução otimizado**
- Controle semiautomático
- Ganhos apurados com **redução de combustível variam de 3 a 17%**, a depender das características do trem e do perfil do trecho.



# Análises estatísticas

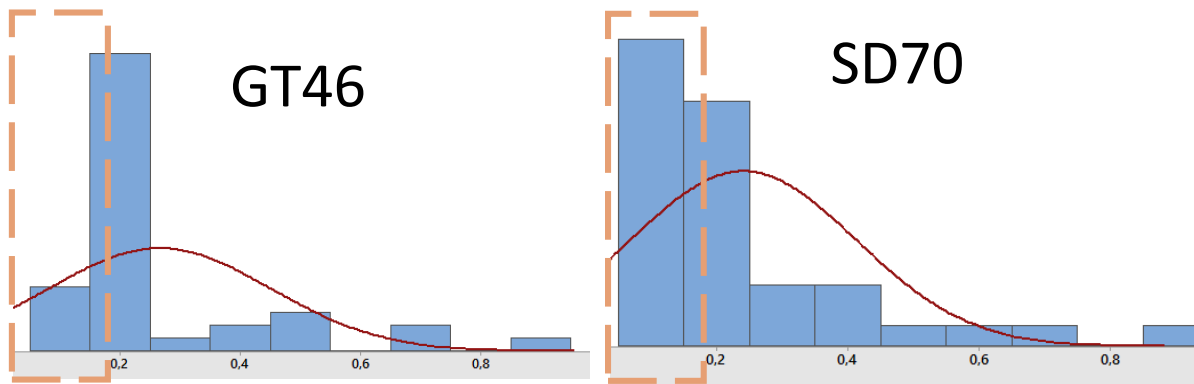
- Quais variáveis influenciam o consumo de combustível?
- Essas variáveis serão impactadas pelo assistente de condução?
- Qual o ganho em consumo de combustível que o assistente de condução trará?



Análise estatísticas através de testes de hipóteses nos dados do corredor de maior densidade de ocupação de malha na VLI para comprovar a influência de algumas variáveis no consumo de combustível

# Influência do modelo de locomotiva

- GT46 e SD70 apresentam médias e desvios padrões de consumo diferentes
- Porém a proporcionalidade da média pelo desvio (coeficiente de variação -CV) deve ser semelhante (menos de 10% a referência)
- CV calculado para cada locomotiva em cada seção de bloqueio



A variação de consumo da GT46 é maior que a da SD70 (valor-p=0,032)

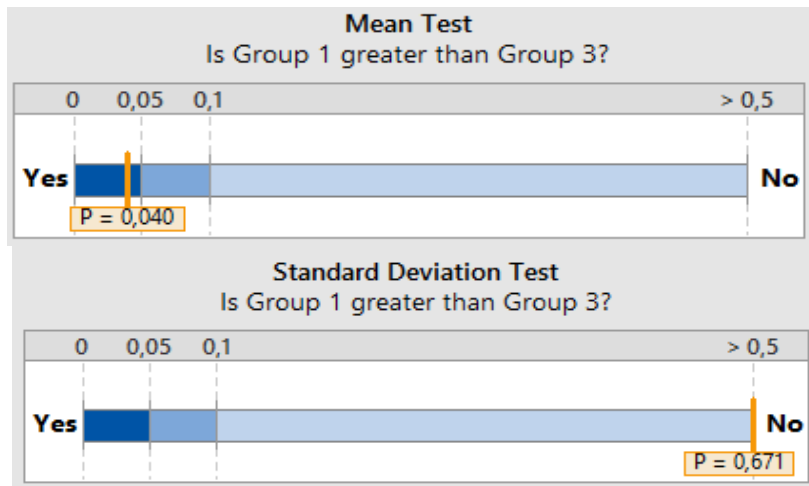


# Influência da experiência do condutor

- Divisão dos maquinistas em 3 grupos

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
0 – 2,9 anos	3,0 – 6,9 anos	Mais de 7 anos

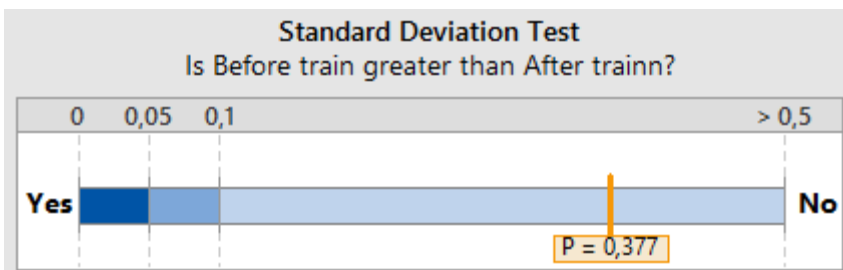
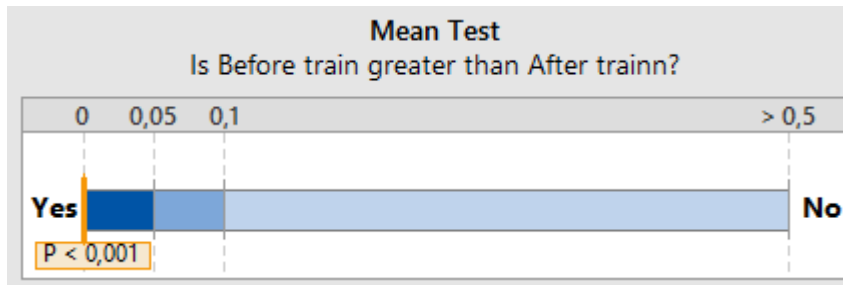
- Calculado média geral de consumo e comparado com a média de cada grupo para cada SB
- Percentual dos grupos 1 e 3 foi comparado



Maquinistas com maior experiência consomem menos combustível (no mesmo cenário), mas a variação de consumo é semelhante

# Influência do treinamento

- VII possui um programa de treinamento ministrado em um simulador de condução NYAB
- Um teste é realizado antes e depois do treinamento



Após o treinamento os maquinistas gastam menos diesel, porém a variação desse consumo não foi tão afetada

# Conclusão das análises estatísticas

- GT46 apresenta uma maior **variação** no consumo
- Maquinistas mais experientes gastam menos combustível
- Treinamento gera uma economia no consumo
- A experiência e o treinamento não geram ganhos aparentes na **variação** de consumo



**Variação do consumo de combustível é o maior problema**



**Importância de se estabelecer uma referência/controlar para essa variação**



**Assistente de condução tem um grande potencial de ganho na VLI**



# Ganho estimado do assistente de condução

- Consumo médio é susceptível a grandes mudanças devido a influência de alguma variável.
- Utilizou-se a premissa que o novo consumo médio seria equivalente ao 10º percentil de cada SB
- O desvio padrão será calculado pelo menor coeficiente de variação encontrado (premissa de redução de variação)
- A distribuição de ganho de consumo foi calculada comparando a curva real atual e uma simulação com números aleatórios (10.000 rodadas).
- Ganho calculado = 9,6% de redução no consumo de combustível

# Análise de risco – HAZOP

- Análise de risco do sistema proposto

Estudo HAZOP					
Projeto: Assistente de condução semi-automático			Data: 07/03/2019		
Time: Cesar Toniolo, Fernanda Deltregia, Pedro Sena					
Nó	Palavra chave	Desvio	Possível causa	Possível consequência	Ação
Software do assistente de condução	Nenhum	Aceleração inadequada / frenagem inadequada	Falha de Software Mapeamento inadequado da via permanente Entrada de dados do trem de forma incorreta	Acidente Perda no consumo de combustível Maiores transit times	Implantar mecanismo de falha segura no caso de falhas abruptas de software (modo manual)
	Menos de / mais de				Melhorar o treinamento para as pessoas que cadastram os dados do trem no sistema
					Desenvolver solução automática para formação de trens
					Implantar processo de revisão do mapeamento da via permanente periodicamente
Maquinista	Menos de / mais de	Aceleração inadequada / frenagem inadequada	Maquinista não está preparado para assumir o trem em modo manual	Acidente Perda no consumo de combustível Maiores transit times	Implantar um sistema robusto para alertar maquinista quando for necessário assumir o trem em modo manual
			Maquinista não observa que sistema passou para modo manual		Desenvolver estudo para determinar o tempo ótimo que o maquinista deve operar o trem em modo manual
			Maquinista sem treinamento ideal		Melhorar o treinamento dos maquinistas na utilização do sistema (simuladores) e estabelecer reciclagens periódicas
	Nenhum		Implantar auditoria na utilização do assistente de condução pelos maquinistas		
Hardware do assistente de condução	Nenhum	Aceleração inadequada / frenagem inadequada	Falha de Hardware (tela inoperante)	Acidente Perda no consumo de combustível Maiores transit times	Implantar mecanismo de falha segura em caso de falha de hardware
			Perda de comunicação com a locomotiva		Implantar sistema robusto para alertar maquinista no caso de perda de comunicação com a locomotiva (Passar para modo manual)

# Estudo de Viabilidade

## Premissas

- Ganho estimado: 9,6%
- Trecho: TIUB a Paulínia
- Frota: SD70BB, GT46, DASH9
- Método VPL (10 anos)

## Resultado

- VPL positivo ao longo de 10 anos, portanto, o assistente de condução se mostrou viável no trecho e nas locomotivas desse estudo.





# Conclusão

- Revisão bibliográfica mostrou que o assistente de condução gera um grande impacto no consumo de combustível
- Análises estatísticas mostraram que é necessário reduzir variabilidade no consumo na VLI, o que potencializa o ganho do assistente de condução.
- Implantação do assistente se mostrou viável em um VPL de 10 anos no trecho TIUB-Paulínia da VLI (9,6% de ganho)
- Importante mitigar os fatores de risco mapeados no HAZOP