UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

QUINHONES FURTUNATO DE SOUZA DUTRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO GERENCIAMENTO DE ATRITO RODA-TRILHO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UMA FERROVIA

JUIZ DE FORA
2014

QUINHONES FURTUNATO DE SOUZA DUTRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO GERENCIAMENTO DE ATRITO RODA-TRILHO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UMA FERROVIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Roberto Malheiros Moreira Filho.
Co-Orientador: D. Sc. Luiz Henrique Dias Alves.

JUIZ DE FORA
2014

Furtunato de Souza Dutra, Quinhones .
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO GERENCIAMENTO DE ATRITO RODA-TRILHO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UMA FERROVIA / Quinhones Furtunato de Souza Dutra. -- 2014.
70 p.

Orientador: Roberto Malheiros Moreira Filho
Coorientador: Luiz Henrique Dias Alves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2014.

1. Consumo de combustível. 2. Gerenciamento de Atrito. 3. Inferência. I. Malheiros Moreira Filho, Roberto, orient. II. Henrique Dias Alves, Luiz, coorient. III. Título.

QUINHONES FURTUNATO DE SOUZA DUTRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO GERENCIAMENTO DE ATRITO RODA-TRILHO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UMA FERROVIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em __de _____de 2014.

BANCA EXAMINADORA

_____

D. Sc. Roberto Malheiros Moreira Filho (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

D. Sc. Luiz Henrique Dias Alves (Co-Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

M. Sc., José Geraldo Ferreira
MRS Logística

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, sem o qual tudo isso não seria possível. Agradeço pelas bênçãos, pela sabedoria e pela força. É a minha grande sustentação.

Aos meus pais, José e Vanilda, que são minha fonte inesgotável de admiração e motivação. Dedico esse trabalho a vocês, as pessoas mais importantes da minha vida.

Às minhas irmãs, Patrícia e Viviane, pelo apoio incondicional.

À minha família, meu alicerce e porto seguro, que sempre esteve comigo.

Aos meus amigos, que se tornaram uma família ao longo desses anos. A caminhada se tornou divertida e menos árdua graças à presença de vocês.

Aos professores, desde a educação básica até a superior, que contribuíram decisivamente na formação do cidadão que hoje sou. A vocês, mestres, meu respeito e eterna gratidão.

Aos professores orientadores, Roberto Malheiros e Luiz Alves, e ao professor convidado José Geraldo Ferreira, que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, e pelas críticas que enriqueceram o conteúdo deste trabalho.

À Universidade Federal de Juiz de Fora e toda a sua estrutura, que tornou possível a realização do sonho da graduação em engenharia.

A todos, que de alguma maneira, contribuíram para que fosse escrita mais essa importante página da minha história.

"If I have seen further,

it is by standing upon the shoulders of giants".

(Sir Isaac Newton)

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade avaliar o impacto que o gerenciamento de atrito exerce sobre o consumo de combustível. O indicador de eficiência energética desempenha importante papel na estrutura de custos de uma ferrovia, pois retrata os litros de combustível gastos para realizar o transporte. Sendo um dos principais custos das empresas ferroviárias, seu estudo é contínuo. A questão que se estabelece reside no fato de o gerenciamento de atrito, que já possui ganhos conhecidos em termos de desgaste de ativos, contribuir para a diminuição do consumo de combustível. Neste trabalho são levantados dados de consumo na presença e na ausência do sistema de gerenciamento de atrito, nos mesmos trechos, a fim de se mensurar a influência que esse sistema exerce sobre o consumo. Procedimentos calcados na inferência estatística, os testes de hipóteses e intervalos de confiança, são utilizados para se realizar o estudo do impacto do uso do referido sistema. O objetivo é avaliar se existem ganhos em termos de consumo pelo uso do sistema de gerenciamento de atrito e, em caso afirmativo, estimar a magnitude desses ganhos, tendo em vista o impacto operacional e financeiro causado no indicador de eficiência energética.

Palavras-chave: Consumo de Combustível, Gerenciamento de Atrito, Inferência.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the impact that friction management has on fuel consumption. The indicator of energy efficiency plays an important role in the cost structure of a railway, because it portrays the liters of fuel expenditure to accomplish transportation. Being one of the main costs of the railway companies, its study is continuous. The question that is established lies in the fact the friction management, which already has earned popularity in terms of wear assets, can contribute to reducing fuel consumption. In this work, the consumption data are raised in the presence and absence of friction management system, at the same sections in order to measure the influence that this system has over the consumption. Procedures rooted in statistical inference, hypothesis testing and confidence intervals are used to study the impact of using such system. The aim is to assess whether there are gains in consumption by the use of friction management system and, if so, estimate the magnitude of these gains, given the operational and financial impact in the energy efficiency's indicator.

Keywords: Fuel Consumption, Friction Management, Inference.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da MRS Logística S.A 19

Figura 2 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção 21

Figura 3 – Contato entre roda-trilho 25

Figura 4 – Barra aplicadora GF na parte interna do trilho (à esquerda) e barra aplicadora TOR na parte externa do trilho (à direita) 26

Figura 5 – Ganhos no consumo de combustível 28

Figura 6 – (a) Esquema de inferência sobre θ e (b) distribuição amostral da estatística *T* 32

Figura 7 – Distribuição Amostral da média dos lançamentos de um dado 34

Figura 8 – Significado do Intervalo de Confiança (IC) 36

Figura 9 – Resultado em uma distribuição amostral 37

Figura 10 – Distribuição *t* de Student e a normal padrão 41

Figura 11 – Fragmento do mapa da malha da empresa 50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FLC-FMS, trens carregados e GA desligado e ligado, respectivamente 54

Quadro 2 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FMS-FMD, trens carregados e GA desligado e ligado, respectivamente 55

Quadro 3 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FMS-FMD, trens vazios e GA desligado e ligado, respectivamente 55

Quadro 4 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FMS-FLC, trens vazios e GA desligado e ligado, respectivamente 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos de Combustível 16

Tabela 2 – Alguns parâmetros e seus símbolos mais comuns 31

Tabela 3 – Decisões possíveis e seus erros associados 38

Tabela 4 – Indicadores financeiros e operacionais 45

Tabela 5 – Sentidos de carga e descarga de trens 50

Tabela 6 – Plano amostral para recolhimento dos dados por trecho, data e carregamento dos trens 51

Tabela 7 – Resumo dos resultados 53

Tabela 8 – Médias dos consumos por amostra. 56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da Eficiência Energética 17

Gráfico 2 – Volume transportado 46

Gráfico 3 – Evolução do indicador de EE 46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

EE – Eficiência Energética

EFC – Estrada de Ferro Carajás

FAST – Facility Accelerated Service Testing – Facilidade para Testar o Serviço Acelerado

FM – Friction Modifier

GF – Gauge Face

GA – Gerenciamento de Atrito

P – Valor-p

T – T-Student

TKU – Tonelada por Quilômetro Bruta, Medida de Produção

TOR – Top of Rail

TOR–FM – Top of Rail Friction Modification

TTCI – Transportation Technology Center Inc. – Centro de Tecnologia de Transportes

Z – Distribuição Normal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 15

1.2 JUSTIFICATIVA 16

1.3 ESCOPO 17

1.4 HIPÓTESES 20

1.5 OBJETIVOS 21

1.6 METODOLOGIA 21

1.7 LEVANTAMENTO DE DADOS 22

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO 22

2. REVISÃO DE LITERATURA 24

2.1 CONCEITO DE ATRITO E FORÇAS RESISTENTES AO MOVIMENTO 24

2.2 O GERENCIAMENTO DE ATRITO 25

2.3 BENEFÍCIOS NO USO DO GERENCIAMENTO DE ATRITO 27

2.4 INFERÊNCIA ESTATÍSTICA 29

2.5 DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DA MÉDIA E TEOREMA DO LIMITE CENTRAL 32

2.6 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS 34

2.7 TESTE DE HIPÓTESES 36

2.8 TESTES UNILATERAIS E BILATERAIS 39

2.9 VALOR-P NOS TESTES DE HIPÓTESES 39

2.10 RELAÇÃO ENTRE TESTES DE HIPÓTESE E INTERVALO DE CONFIANÇA 39

2.11 INFERÊNCIA NA DIFERENÇA DE DUAS MÉDIAS, VARIÂNCIAS DESCONHECIDOS E SUPOSTAS DIFERENTES 40

2.12 DISTRIBUIÇÃO T 40

2.13 VALOR-P NO TESTE T 41

2.14 INTERVALO DE CONFIANÇA 42

2.15 ERRO TIPO II NO TESTE T SUPONDO VARIÂNCIAS DESCONHECIDAS MAS DISTINTAS 44

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MRS LOGÍSTICA 45

4. DESENVOLVIMENTO 48

4.1 DELINEAMENTO DO LEVANTAMENTO DOS DADOS 48
4.2 DEFINIÇÃO DA REGIÃO E HORIZONTE DE ANÁLISE 49
4.3 TRATAMENTO E SELEÇÃO DOS DADOS 51
5. RESULTADOS 53
5.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 56
6. CONCLUSÃO 59
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
ANEXO I – RESUMO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE CONSUMO 64
ANEXO II – DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT 68
ANEXO III – TERMO DE AUTENTICIDADE 69
ANEXO IV – DECLARAÇÃO DA EMPRESA 70

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido ao imenso volume consumido, os custos com combustível nas ferrovias são notórios. O consumo de combustível na indústria ferroviária está relacionado a vários fatores, entre eles: tipo de mercadoria transportada, perfil de linha, tipo de formação dos trens, execução da condução, distância, dentre outros. O indicador clássico que relaciona volume transportado, distância e consumo de combustível é a Eficiência Energética (EE). A EE é um indicador que relaciona a quantidade de litros consumidos para realizar o transporte de mercadorias, descrita por Pereira (2009) como:

> 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 ainda pouco pesquisado na prática ferroviária, entretanto é um assunto de extrema importância, pois consiste no maior gasto de uma ferrovia de carga.

Dada a enorme importância financeira e operacional desse indicador, esforços são continuamente investidos a fim de se reduzir o consumo de combustível, melhorando o desempenho operacional e financeiro da organização. Alguns dos estudos que tem sido desenvolvidos atualmente na MRS Logística, possuem o intuito de compreender se o consumo de combustível está também relacionado ao atrito entre os rodeiros da composição e os trilhos da via ferroviária. Segundo Sroba *et al* (2001), ao longo dos anos, ferrovias americanas têm trabalhado o gerenciamento de atrito entre roda e trilho para controlar seus respectivos desgastes, reduzir forças laterais nas curvas e produzir economias substanciais no consumo de combustível. Nesse sentido, acredita-se que o uso de sistemas de gerenciamento de atrito entre rodas e trilhos possa melhor controlar o atrito e, por consequência, atenuar o consumo de combustível em alguns trechos específicos. Caso isso se confirme para a realidade da empresa em questão, a mesma poderá utilizar esse fato como mais um aliado no pleito da realização de projetos de investimento em sistemas de gerenciamento de atrito, com objetivo de aumentar as regiões da malha que possuem tal sistema, dado o seu já conhecido ganho em termos de desgaste de ativos.

A avaliação do ganho em eficiência energética face ao uso de sistemas de gerenciamento de atrito será, portanto, o objeto de estudo deste trabalho. O objetivo é realizar análises estatísticas que permitam comparar o consumo de combustível em trechos *com* e *sem*

o gerenciamento de atrito, no intuito de estimar seus ganhos e fornecer respostas com um nível de confiança satisfatório, que servirão para embasar e respaldar decisões futuras.

1.2 JUSTIFICATIVA

No ano de 2012, a empresa ferroviária MRS Logística S.A. despendeu mais de R$ 455 milhões apenas em combustível e lubrificantes, sendo esse o segundo maior custo variável da empresa, responsável por cerca de 25% dos Custos e Despesas Operacionais da mesma (MRS LOGÍSTICA S.A., 2013). Os dados estão retratados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custos de Combustível
Fonte: Adaptado de MRS Logística (2013).

	2012	**2011**	**2010**
Custos e Despesas Operacionais	1842,8	1686,2	1109,3
Combustível	455,10	423,00	383,90
% Combustível	**25%**	**25%**	**35%**

Esse volume vertiginoso faz com que o controle do consumo de combustível seja acompanhado atenta e rotineiramente, tendo em vista que melhorias pontuais podem ser responsáveis por grandes impactos, dado o volume circulado. Nesse sentido, várias são as frentes de trabalho acionadas com o intuito de promover ações que redundem na melhoria do desempenho e redução do consumo de combustível. A trajetória decrescente dos dados plotados, visualizada no gráfico 1, demonstra os resultados dessas ações, pois verifica-se a tendência de diminuição do consumo de combustível. Sendo o cálculo da Eficiência Energética composto pela divisão do consumo de combustível pela quantidade tracionada em determinado trecho, verifica-se que quanto menor o valor do indicador de Eficiência Energética, melhor o resultado, pois esse exprime o consumo de menos combustível para realizar determinada tarefa.

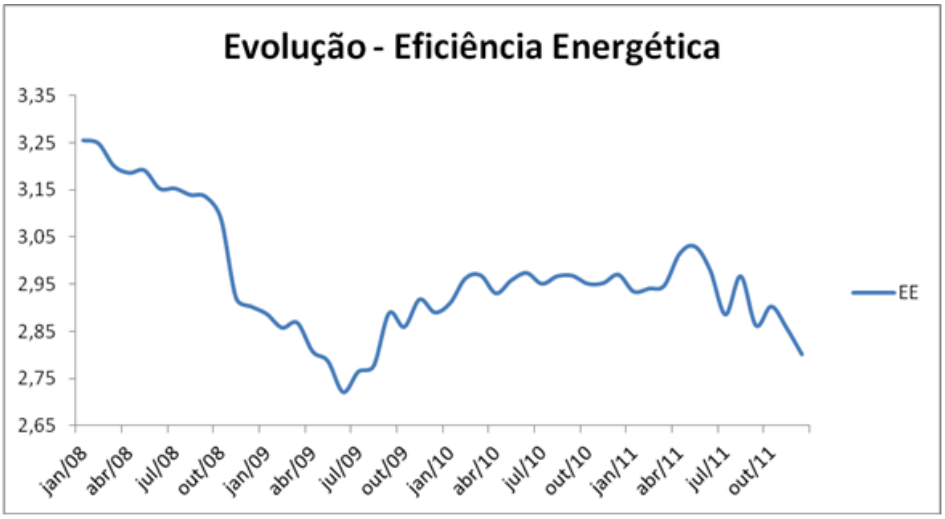


Gráfico 1 – Evolução da Eficiência Energética
Fonte: Adaptado de MRS Logística S.A. (2013).

Uma das frentes de trabalho na MRS Logística para a redução do consumo de combustível deu origem ao presente trabalho, pois estima-se que exista um ganho real no consumo de combustível devido a implantação do gerenciamento de atrito. Em suas recomendações para trabalhos futuros, Carmo (2012) salienta:

> A redução do consumo de combustível esperado com a implantação do Gerenciamento do Atrito precisa ser mensurada. Reduções do consumo de combustível foram comprovadas em estudos realizados em outras ferrovias, considerando o tipo de via, o modelo operacional e o tipo de trens utilizados. Os ganhos alcançados fornecerão bases financeiras para apoiar a expansão do projeto e/ou utilização desta tecnologia em outras ferrovias.

Na academia, são modestos os trabalhos que envolvem o tema, ainda mais quando se trata da utilização de técnicas estatísticas para mensurar o possível ganho acima referido. Dessa forma, verifica-se, pois, a relevância do assunto, tanto sob o ponto de vista do impacto financeiro/gerencial causado, quanto do ponto de vista acadêmico.

1.3 ESCOPO

O objetivo do presente estudo é avaliar o impacto do gerenciamento de atrito sobre o consumo de combustível, quando a composição está vazia ou transportando minério, cuja classe se enquadra dentro do termo mundialmente conhecido como *heavy haul*. A empresa na qual será desenvolvido o trabalho será a MRS Logística S.A., uma empresa ferroviária do

sudeste brasileiro. Para tanto, serão levantados dados referentes ao consumo do combustível em determinadas regiões. Esse levantamento se dará entre os meses de dezembro de 2013 e janeiro de 2014. Selecionaram-se regiões nas quais já existe o sistema de gerenciamento de atrito e onde eles possam ser temporariamente desativados. Isso se deve ao fato de realizar as comparações nos mesmos trechos *com* e *sem* o funcionamento do sistema, objetivando manter máximas as condições de igualdade.

A malha da empresa se estende por cerca de 1.687 km de vias, sendo dividida em regiões. As áreas que serão estudadas encontram-se no trecho denominado Paraopeba, principal trecho que carregamento da MRS Logística S.A., onde o fluxo de trens tanto vazios quanto carregados é intenso (MRS LOGÍSTICA S.A., 2014). O trecho é ilustrado a na figura 1.

ANOTAÇÕES	MRS Logística S.A.	TÍTULO DES.: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MALHA FERROVIÁRIA – MRS COORDENAÇÕES DE VIA PERMANENTE	
REV. Nº 0 – DATA 12/04/2010 DESCRIÇÃO: INFORMAÇÃO ADRIANO MAGALHÃES – GER. MANUT. MALHA PROJ.: ... DES.: PATRÍCIA A. SALIMENA	FIRMA CONTRATADA:	ENG.RESP.:	DATA: 11/03/2010
REV. Nº 1 – DATA 12/04/2012 DESCRIÇÃO: INFORMAÇÃO ISABELA ALMEIDA – GER. MANUT. VPMG PROJ.: ... DES.: RENATA SALIMENA		PROJ.:	ESCALA: S/E FORMATO: A3
REV. Nº 2 – DATA 08/08/2012 DESCRIÇÃO: INFORMAÇÃO ALAN FERREIRA – ASS. OPER. DE VIA PROJ.: ... DES.: RENATA SALIMENA		DES.PROJ.: PATRÍCIA A. SALIMENA OLIVEIRA	REV./DATA: 02 – 08/08/12
	Nº ARQUIVO MRS:	OE–EL–0020–001–01	SUBST./REF.: OE–EL–0001–001–01

Figura 1 – Mapa da MRS Logística S.A
Fonte: MRS Logística S.A. (2013).

O levantamento das informações será realizado de forma indireta. Isso se deve ao fato de não se conseguir medir diretamente o consumo de combustível em uma locomotiva, sendo este calculado através de algumas operações e armazenados em um sistema denominado Caixa Preta, de onde é possível extrair as informações necessárias. De posse da base de dados registrada pelo sistema, serão atribuídos os marcos quilométricos que compreendem a região desejada e, assim, extraídos os consumos naquele trecho. Esses dados serão posteriormente trabalhados nas análises subsequentes.

Os resultados encontrados são diretamente influenciados pela quantidade e qualidade dos dados disponibilizados por parte da empresa, sendo este um importante limitador.

1.4 HIPÓTESES

Análises empíricas sugerem que o gerenciamento de atrito, além de melhorar o desempenho do transporte em alguns pontos, também diminuiria o consumo de combustível, pois necessita-se de menos tração para realizar o mesmo movimento. Segundo Vandermarel *et al* (2013), o atrito entre roda-trilho desempenha significante impacto no desgaste da roda e do trilho, forças laterais nas curvas e energia do trem (consumo de combustível). Dado o exposto, verifica-se que as áreas indicadas para serem realizados os experimentos devem preferencialmente possuir perfis de linha com fator de curva elevados e cuja força exercida pelas rodas sobre os trilhos seja intensa, de modo que o possível efeito do gerenciamento de atrito possa se manifestar claramente.

Atualmente, em trechos específicos, já existem sistemas de gerenciamento de atrito, trabalhando para que o coeficiente de atrito entre a roda e o trilho possa atingir patamares próximos do ótimo, a fim de beneficiar a operação ferroviária. Esses trechos ainda são poucos se comparados à toda extensão da malha da MRS Logística SA.

A hipótese que aqui se formula é que o uso de sistemas de gerenciamento de atrito impacta diretamente o consumo de combustível das locomotivas, dado que, em tese, elas despendem menos força de tração para realizar o mesmo movimento nos pontos em causa.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar se o consumo de combustível é significativamente impactado pelo uso de sistemas de gerenciamento de atrito da malha ferroviária, nos trechos pertinentes. Em caso afirmativo, deseja-se estimar o grau de influência no consumo, tanto nos trens vazios quanto nos trens com carregamento *heavy haul*.

1.6 METODOLOGIA

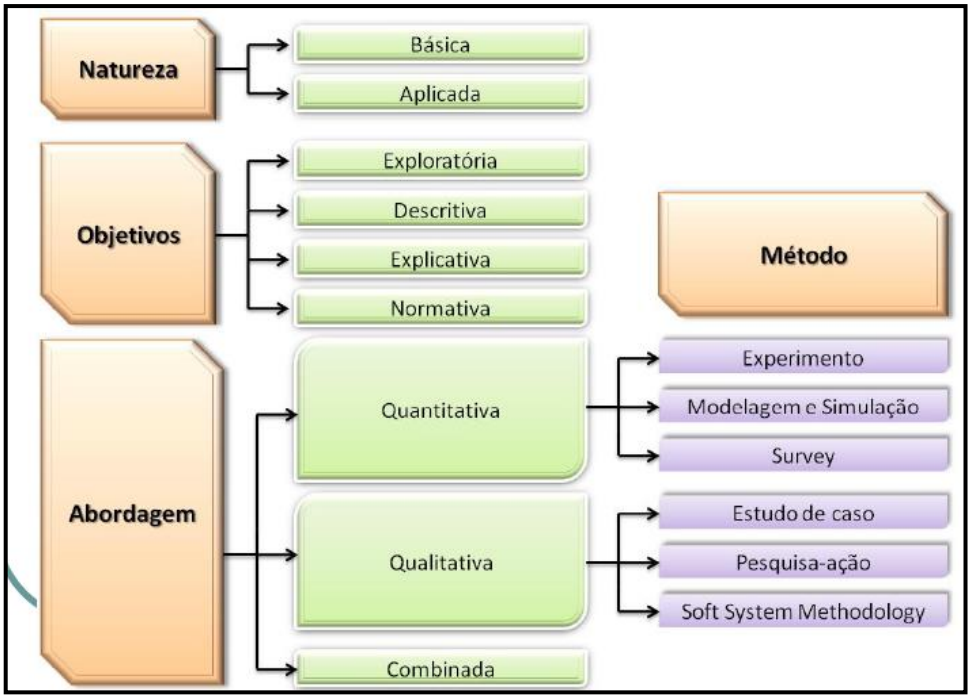


Figura 2 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção
Fonte: Adaptado de Miguel (2010).

De acordo com a estrutura sugerida por Miguel (2010), classifica-se o trabalho como sendo de natureza pesquisa do tipo aplicada, tendo em vista a aplicação de conhecimentos e técnicas aprendidas a fim de desenvolver uma resposta. Os objetivos são de caráter explicativo, haja vista que se deseja descobrir se o gerenciamento de atrito gera, ou não, impacto significativo no consumo de combustível. A abordagem é do tipo quantitativa, pelo fato de serem estimados valores para a comprovação de uma hipótese por meio de análise de dados. O método assenta principalmente na experimentação e posterior análise dos resultados.

1.7 LEVANTAMENTO DE DADOS

Atualmente uma pequena parte do trecho da MRS Logística S.A. já possui sistemas de gerenciamento de atrito, e será sobre essas regiões que o estudo se assentará. Isso se deve ao fato de possibilitar a análise na presença e na ausência do sistema, evitando que a diferença entre trechos pudesse interferir negativamente no comportamento dos dados. Como nem todos os trechos são passíveis de desligamento do GA, foram determinadas áreas específicas a serem estudadas, onde a desativação dos mesmos é possível. Essas áreas, como descrito anteriormente, encontram-se na região denominada Paraopeba. A grande atividade de trens na região (o que se traduz em maior base de dados) e a possibilidade do desligamento dos sistemas de gerenciamento de atrito fizeram com que a região do Paraopeba fosse a mais adequada para o desenvolvimento dos experimentos.

Os trechos que já possuem o sistema GA o mantém ligado constantemente. Dessa forma, obtém-se facilmente a informações nessa vertente. Tendo em vista que, por outro lado, deve-se desligar o sistema para levantamento dos dados na ausência do GA, essa operação é especialmente planejada e executada. Os sistemas ficaram desligados do dia 18/12/2013 ao dia 10/01/2014. Os dados foram levantados nesse intervalo de tempo e encaminhados para análise.

As informações de consumo de combustível serão levantadas de forma indireta, armazenados em um sistema interno da locomotiva, denominado Caixa Preta. Esse sistema registra todos os eventos que ocorrem com a locomotiva, arquivando também a quilometragem respectiva. Essas informações serão usadas de forma casada com o mapa da malha ferroviária descrito na figura 1, que contém os trechos que serão estudados. Dessa forma, ter-se-á a informação do consumo em determinado trecho.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos. O capítulo em causa se propõe a introduzir o assunto, abordando a conceituação geral sobre o mesmo. Visa lançar as bases gerais para que o tema seja apresentado, compreendido e posteriormente abordado. Apresenta a justificativa do tema, o delimita e mostra como o trabalho será desempenhado.

O capítulo 2 é composto pela revisão bibliográfica dos temas que comporão este trabalho. Nela são tratados os dois principais temas desse estudo: o gerenciamento de atrito e

a inferência estatística. São trazidos conceitos, pressupostos, técnicas e iniciadas as bases conceituais que suportarão as análises posteriores.

No capítulo 3 tem-se uma rápida descrição do tema Eficiência Energética na MRS Logística, sua forma de cálculo e seu impacto financeiro na empresa em questão, o que justifica o constante estudo do tema. É avaliada sua evolução ao longo do tempo e são mostrados dados financeiros e operacionais, cujo desempenho é diretamente refletido no indicador de EE.

No capítulo 4 é realizado o desenvolvimento do trabalho, que envolve todo o processo de desenho do levantamento dos dados. Aqui são definidas as quantidades e tamanhos das amostras, as regiões da malha ferroviária que serão estudadas, quais condições operacionais serão consideradas e quais tipos de dados serão utilizados nas análises subsequentes. É mostrado também como se dará o tratamento dos dados quando prontos para análise.

O capítulo 5 é composto pelos resultados dos estudos bem como sua respectiva discussão. Aqui são apresentadas as saídas das análises realizadas, a comparação com o existente na literatura e analisados criticamente os resultados que foram obtidos no desenvolver do trabalho. Nesse capítulo serão quantificados, caso existam, os ganhos no consumo de combustível devido ao GA. Serão avaliados esses percentuais de ganhos e analisados caso a caso, de modo a validar os procedimentos e o estudo desenvolvidos.

No capítulo 6 realiza-se a conclusão do trabalho. É verificado se o objetivo do trabalho foi alcançado, aspectos gerais e proeminentes do trabalho são ponderados e evidenciados, bem como sugestões aos trabalhos que possam futuramente ser desenvolvidos no mesmo tema em questão.

REVISÃO DE LITERATURA

1.9 CONCEITO DE ATRITO E FORÇAS RESISTENTES AO MOVIMENTO

O atrito pode ser definido como sendo a resistência ao movimento sempre que há o deslizamento de um corpo sólido sobre outro. O atrito existente entre a roda e o trilho representa uma significativa perda de energia, adicionando uma resistência ao movimento que, para ser superada, é necessário um esforço adicional de tração. Esse esforço adicional advém do uso de combustível, que é a energia utilizada para tal (RONEY, 2009).

Segundo Vandermarel *et al* (2013), o atrito entre roda-trilho desempenha significante impacto no desgaste da roda e do trilho, forças laterais nas curvas e energia do trem (consumo de combustível). Recentemente a indústria tem focado no controle em separado do atrito roda-trilho: a lubrificação tradicional da interface lateral do trilho e rodeiro do trem (*gauge face - GF*) e topo do trilho (*Top of Rail -TOR*).

EADIE *et al* (2013) apresentam uma formulação matemática para a modelagem dos componentes das forças que exercem resistência ao desempenho do movimento do trem:

$$R_{total} = R_{tangent} + R_{curves} + R_{grade} + R_{wind} \qquad (1)$$

Assumindo que a resistência adicional devido às curvas são afetadas pelo coeficiente de atrito do topo do trilho, enquanto as resistências pelo vento e pelo degrau não o são. Isso resulta em outra equação:

$$R_{total}^{TOR\,FM} = \left[R_{tangent(TOR)} + R_{curves}\right] * \left(1 - K_{TOR)}\right) + \left[R_{tangent\ (other)} + R_{grade} + R_{wind}\right] \qquad (2)$$

onde K_{TOR} denota a redução na resistência do trem devido a aplicação do TOR-FM.

Ainda para EADIE *et al* (2013), a equação 2 revela alguns fatos:

- Redução de energia com esse sistema aumenta com o incremento das curvas
- Ganhos são obtidos em linhas curvas e tangentes.

1.10 O GERENCIAMENTO DE ATRITO

O gerenciamento de atrito é retratado por CARMO (2012) como sendo o controle realizado em duas partes distintas da interface roda-trilho: através da lubrificação da face de bitola do trilho e flange das rodas, e o controle do atrito no topo e na banda de rodagem das rodas. A figura 3 retrata o contato roda/trilho. A elipse vermelha indica o contato lateral entre a roda e o trilho, região na qual é aplicada a lubrificação na face de bitola, *Gauge Face* (GF), sendo que a mesma já se encontra lubrificada. A seta amarela indica o contato entre a roda e o topo do trilho, chamado de *Top of Rail* (TOR).

Figura 3 – Contato entre roda-trilho
Fonte: http://gallery3.qrig.org/index.php/members-gallery/bazt/Wheel---Rail-Interface.

Sroba *et al* (2001) descrevem o gerenciamento de atrito como sendo o processo de controlar o coeficiente de atrito que existe no contato entre a roda do trem e o trilho (roda/trilho), a fim de que sejam atingidos valores mais apropriados para a condição particular de operação ferroviária.

O uso de lubrificadores de beira de estrada, responsáveis pela lubrificação da face de bitola do trilho e flange das rodas, tem sido usados por muitos anos. Eles realizam com relativo sucesso a lubrificação da lateral do trilho, mas deixam a desejar em relação à lubrificação no topo dos trilhos, sendo necessárias novas tecnologias que solucionem

devidamente essa questão. Os EUA e Canadá têm, ao longo dos anos, aplicado a lubrificação na interface roda/trilho para controlar desgaste de roda e de trilhos, reduzir forças laterais nas curvas e produzir ganhos no consumo de combustível (SROBA *et al*, 2001).

A ferrovia, ao longo de muitos anos, já vem realizando a lubrificação de face de bitola (GF), com o objetivo de reduzir o desgaste dos ativos da via que sofrem contato com a roda do trem. Nos últimos anos, estudos ferroviários foram desenvolvidos, proporcionando melhor entendimento sobre o gerenciamento de atrito roda-trilho, tornando possível desenvolver o controle de atrito no topo do trilho, o TOR (REIFF, 2006).

Para Carmo (2012), nos últimos 25 anos estudos vêm sendo desenvolvidos pela indústria ferroviária no que se refere ao gerenciamento de atrito. Os conceitos, materiais utilizados e equipamentos de aplicação e mensuração vêm sofrendo considerável evolução. Conceitos como controle de fricção no topo do trilho (TOR) vêm sendo desenvolvidos e aplicados. Em conjunto com lubrificação de face de bitola (GF), essa metodologia de gerenciamento de atrito dada pelo uso em conjunto do TOR e GF tem atingido resultados consideráveis em grandes ferrovias, especialmente na América do Norte. Os sistemas GF e TOR são ilustrados na figura 4.

Figura 4 – Barra aplicadora GF na parte interna do trilho (à esquerda) e barra aplicadora TOR na parte externa do trilho (à direita)
Fonte: Carmo (2012).

De acordo com Eadie *et al* (2013), a utilização do *Top of Rail Friction Moditication* (TOR-FM) contribui para diminuir o desgaste roda-trilho, pois reduz a força lateral dos rodeiros sobre o trilho onde as curvas são acentuadas, o que reflete também em uma redução no consumo de combustível.

A principal diferença entre a lubrificação da face de bitola (GF) e o controle do atrito no topo do trilho (TOR) é o uso do modificador de atrito (*Friction Modifier* – FM) para a

aplicação no topo do trilho. O uso desse modificador é uma evolução quando comparado ao que se utilizava antes, que são os materiais convencionais para a aplicação na face de bitola (GF), como graxa ou óleo. Em tese, o lubrificante utilizado na face de bitola pode ser usado para aplicações TOR. O problema reside na dificuldade de controlar esse produto para que o coeficiente de atrito desejável seja alcançado. O lubrificante produz uma faixa adequada de coeficiente de atrito por uma faixa bastante estreita de espessura, ao passo que o modificador de atrito já consegue esse resultado em uma faixa mais extensa de espessura, possibilitando que o produto seja utilizado no topo do trilho e alcance nível de atrito mais adequado (CARMO, 2012). Dessa forma, o gerenciamento de atrito calcado tanto no GF quanto no TOR desempenha uma função mais completa, abrangendo todo o contato entre roda e trilho, tanto no contato lateral quanto no topo do trilho, atingindo melhores resultados.

1.11 BENEFÍCIOS NO USO DO GERENCIAMENTO DE ATRITO

Para Sroba *et al* (2001) são alguns dos principais objetivos o uso do equipamento de gerenciamento de atrito:

- Lubrificação da lateral do trilho minimiza o atrito, desgaste e resistência nas curvas;
- Proporcionar um coeficiente intermediário de atrito no topo do trilho, a fim de controlar as forças laterais em curvas e tangentes;
- Melhorar a tração dos rodeiros das locomotivas devido à potencialização da adesão da roda no topo do trilho.

De acordo com Eadie *et al* (2002), os benefícios principais do gerenciamento de atrito são:

- Redução de desgastes de trilhos e rodas;
- Redução no ruído de vibração e;
- Economia significante de energia (combustível).

Como pode ser verificado, o principal benefício do gerenciamento de atrito reside na diminuição do desgaste dos ativos envolvidos. O efeito colateral positivo citado acima por Sroba *et al* (2001) e Eadie *et al* (2002) reside no fato de, dada a diminuição do esforço necessário ao movimento, poderá haver também diminuição no consumo de combustível.

Ainda para Eadie *et al* (2002), a redução de consumo de combustível alcançada com o gerenciamento de atrito pode se estabelecer por:

- Redução da força lateral, principalmente em função do coeficiente de atrito no topo do trilho;
- Redução da resistência ao rolamento em tangentes ferroviárias, também em função do coeficiente de atrito no topo do trilho e;
- Redução das forças entre o flange do rodeiro e a face de bitola em função da redução do coeficiente de atrito na GF.

Sroba *et al* (2001) relatam um estudo realizado em dois trens de carvão, pela New York Air Brake, equipado com o sistema LEADER e cujo o trajeto fora a rota de carvão da *Canadian Pacific Railway's*, sendo ganhos observados retratados na Figura 5.

(In Imperial Gallons)	Curve Resistance Fuel	Rolling Resistance Fuel
Pre-Lubrication Period	70	107
Post Lubrication Period	39	119
Difference	-31	11
% Difference	-44%	11%

Figura 5 – Ganhos no consumo de combustível
Fonte: Sroba *et al* (2001).

O exposto acima indica a possibilidade real de ganhos na adoção de sistemas de gerenciamento de atrito, tanto matematicamente quanto empiricamente, em experimentos já realizados.

De acordo com Carmo (2012), um estudo realizado pelo *Transportation Technology Center Inc.* (TTCI) relata que várias pesquisas têm sido feitas pela indústria ferroviária com o objetivo de identificar os ganhos decorrentes da implementação do controle de atrito entre roda e trilho, no que se refere à economia de combustível. Resultados apontam para o fato de, para além da diminuição do desgaste e ruído, reduções no consumo de energia tem sido encontradas. Em testes realizados pelo *FAST* (*Facility Accelerated Service Testing*), resultados mostraram que a implementação do controle do atrito foi responsável por uma redução no consumo de combustível da ordem de 3% a 15%, de acordo com a geometria da via e as práticas de operação ferroviária.

Em uma aplicação de gerenciamento de atrito realizado na ferrovia *Canadian Pacific*, sendo utilizados graxa na face de bitola e modificador de atrito no topo do trilho, os

ganhos estimados foram da ordem de 1,4% a 3,3% no trecho de implantação (CARMO, 2012).

Dessa forma, verifica-se na literatura ganhos tanto na área de manutenção de ativos quanto na redução do consumo de combustível, o que será objeto de estudo do presente trabalho.

1.12 INFERÊNCIA ESTATÍSTICA

De acordo com Werkema *et al* (1996) a inferência estatística consiste em:

> um conjunto de procedimentos por meio dos quais as informações obtidas com base em dados amostrais são utilizados para o estabelecimento de conclusões e a tomada de decisões sobre a população (processo) da qual a amostra foi extraída. Estes procedimentos permitem que seja mantido um controle dos erros que podem ser cometidos no estabelecimento das conclusões sobre os temas que estão sendo avaliados.

A inferência estatística consiste nos métodos usados para tomar decisões ou tirar conclusões acerca de uma população. Para estabelecer essas conclusões, esses métodos utilizam a informação contida em uma amostra proveniente da população respectiva. O campo da inferência estatística pode ser dividido em duas grandes áreas: estimação de parâmetros e testes de hipóteses (MONTGOMERY & RUNGER, 2009).

Para Werkema *et al* (1996) a motivação básica da inferência estatística é a detecção de comportamentos significativamente não usuais. Sua noção sugere que é possível que dois números sejam matematicamente distintos, mas não significativamente diferentes. Nesse sentido, faz-se importante realizar as distinções entre três tipos de diferenças:

- Matemática: quando os números não são exatamente iguais;
- Importante: quando a diferença numérica é importante no sentido gerencial;
- Significante estatisticamente: quando a diferença é grande o suficiente tal que seja improvável que tenha ocorrido devido ao acaso.

Dois conceitos essenciais em inferência estatística são o de população e amostra. Uma população se caracteriza como sendo o conjunto de todos os elementos sob investigação, sendo a amostra qualquer subconjunto dessa população. Os procedimentos de seleção das amostras são de enorme importância, chegando a constituir duas especialidades dentro da estatística: a Amostragem e o Planejamento de Experimentos (MORETTIN & BUSSAB, 2012).

Werkema *et al* (1996) destacam ser fundamental que a amostra seja representativa da população que a originou, e que as medições realizadas para levantar os dados sejam confiáveis, objetivando garantir que as conclusões a serem estabelecidas com o conjunto de dados amostrados sejam realmente apropriadas.

Para Morettin e Bussab (2012), depois de selecionadas as amostras, muitas vezes deseja-se utilizá-las para a produção de alguma característica específica. Nesse sentido define-se como sendo:

- Estatística: uma estatística é uma característica da amostra, ou seja, uma característica T é uma função de X1, X2, …, Xn. Sendo algumas comuns:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \tag{3}$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (X_i - \bar{X})^2 \tag{4}$$

$$X_{(1)} = \min(X_1\,,\, X_2\,, \dots, X_n) \tag{5}$$

Sendo as equações 3, 4 e 5 a média, a variância e o menor valor da amostra, respectivamente.

- Parâmetro: um parâmetro é uma medida usada para descrever uma característica da população. Nesse sentido, se amostras de uma população com variável aleatória X estiverem sendo colhidas, seriam parâmetros a média E(X) e a variância Var(X). Alguns dos parâmetros mais usados são descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Alguns parâmetros e seus símbolos mais comuns
Fonte: Morettin & Bussab (2012).

Denominação	População	Amostra
Média	$\mu = E(X)$	$\bar{X} = \sum X_i / n$
Mediana	$\text{Md} = Q_2$	$\text{md} = q_2$
Variância	$\sigma^2 = \text{Var}(X)$	$S^2 = \sum (X_i - \bar{X})^2/(n-1)$
Nº de elementos	N	n
Proporção	p	$\hat{p}$
Quantil	$Q(p)$	$q(p)$
Quartis	Q_1, Q_2, Q_3	q_1, q_2, q_3
Intervalo inter-quartil	$d_Q = Q_3 - Q_1$	$d_q = q_3 - q_1$
Função densidade	$f(x)$	histograma
Função de distribuição	$F(x)$	$F_e(x)$

A título de exemplo, se $X_1, X_2, \ldots, X_n$ for uma amostra aleatória de tamanho n, então a média da amostra $\bar{X}$, a variância da amostra S^2 e o desvio-padrão da amostra S são estatísticas. Desde que uma estatística seja uma variável aleatória, ela possui uma distribuição de probabilidades. Dessa forma, caracteriza-se uma distribuição amostral como sendo a distribuição de probabilidades de uma estatística (MONTGOMERY & RUNGER, 2009). A figura 6 retrata a relação entre amostra e população.

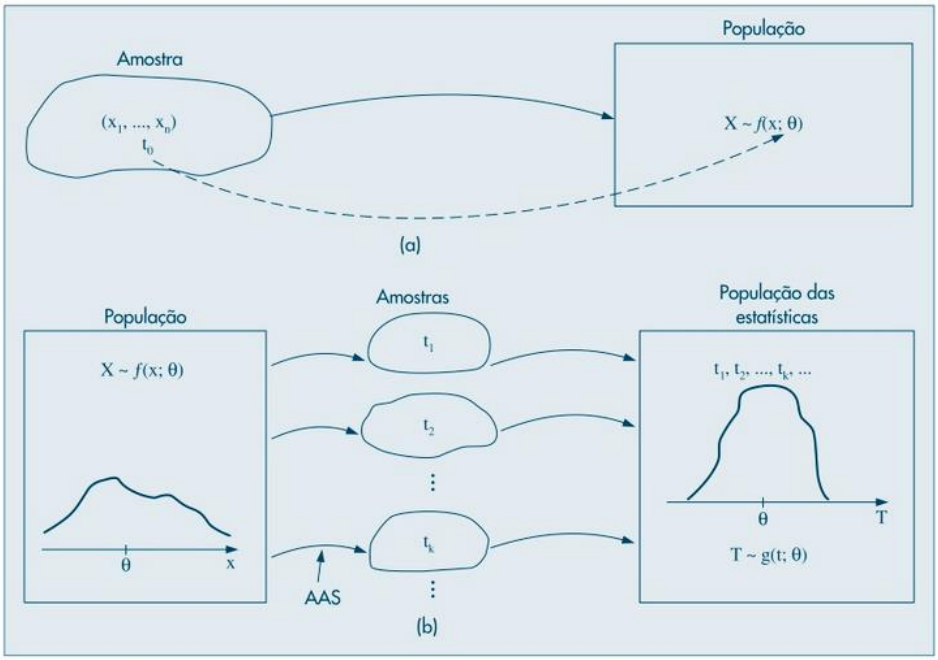


Figura 6 – (a) Esquema de inferência sobre θ e (b) distribuição amostral da estatística *T*
Fonte: Morettin & Bussab (2012).

1.13 DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DA MÉDIA E TEOREMA DO LIMITE CENTRAL

De acordo com Montgomery e Runger (2009), a distribuição de probabilidades de $\bar{X}$ é chamada de distribuição da amostral da média. A distribuição amostral de uma estatística depende da distribuição de sua população, do tamanho e do método de seleção da amostra. Uma das mais importantes distribuições amostrais existentes é a da média, apresentada abaixo pelas equações 6, 7 e 8.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n} \tag{6}$$

$$\mu_{\bar{X}} = \frac{\mu + \mu + \cdots + \mu}{n} = \mu \tag{7}$$

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma^2 + \sigma^2 + \cdots + \sigma^2}{n^2} = \frac{\sigma^2}{n} \tag{8}$$

Caso a amostragem esteja sendo feita de uma população da qual não se conheça a sua distribuição de probabilidades, a distribuição amostral da média será aproximadamente normal, com média μ e variância σ^2/n, caso o tamanho n da amostra seja suficientemente grande. Esse é o conhecido Teorema do Limite Central, descrito como:

Se $X_1, X_2, \ldots, X_n$ for uma amostra aleatória de tamanho n, retirada de uma população (finita ou infinita), com média μ e variância finita σ^2/n, e se $\bar{X}$ for a média da amostra, então a forma limite da distribuição de

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \qquad (9)$$

Quando $n \rightarrow \infty$, é a distribuição normal padrão. (MONTGOMERY & RUNGER, 2009)

Werkema *et al* (1996) pontua que, para possibilitar a utilização do Teorema do Limite Central, é usual considerar que n da amostra é suficientemente grande quando $n > 30$. Para Montgomery e Runger (2009), o tamanho da amostra deve ser $n > 40$. A figura 7 retrata a distribuição amostral da média dos valores de um único dado verdadeiro de seis faces, à medida que o número de amostras aumenta. Com uma amostra de $n = 10$ lançamentos, é possível perceber que a distribuição amostral da média já pode ser bem aproximada por uma normal, mesmo a distribuição original dos valores sendo bastante diferente da normal.

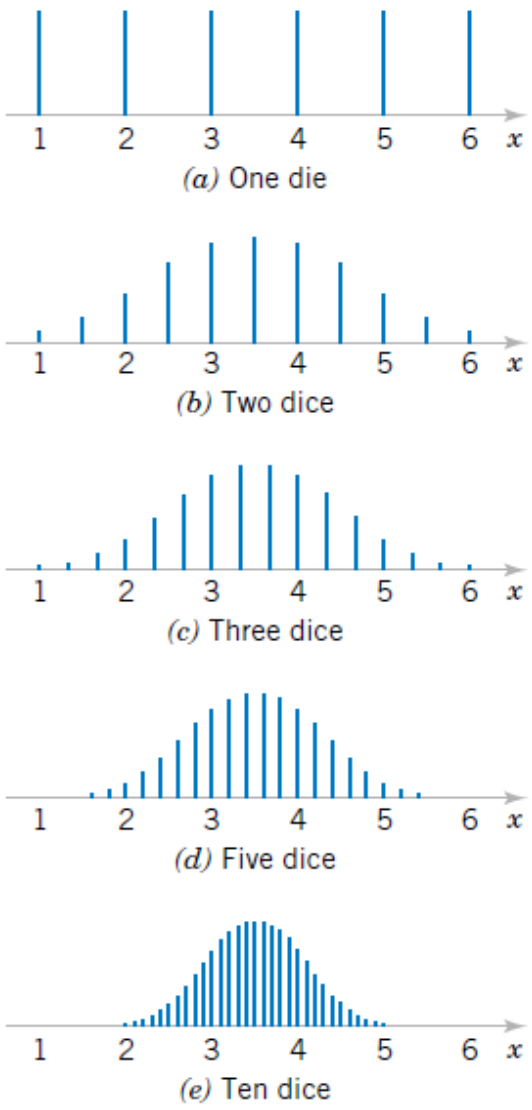


Figura 7 – Distribuição Amostral da média dos lançamentos de um dado
Fonte: MONTGOMEY & RUNGER (2011).

1.14 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

O campo da inferência estatística, na descrição de Montgomery e Runger (2009) é dividido em duas grandes áreas: estimação de parâmetros e testes de hipoteses.

Para Martins e Domingues (2011), pode-se classificar esses dois grandes grupos como sendo:

Estimação: determinação de estimativas de parâmetros populacionais e,

Teste de Hipóteses: tomada de decisão relativa ao valor de um parâmetro populacional.

Ainda para Martins e Domingues (2011), as formas de estimação se dividem em duas categorias: estimação pontual e estimação por intervalos.

- A Estimação Pontual se trata de quando, com base em dados amostrais, calcula-se um valor da estimativa do parâmetro populacional. Dessa forma, o cálculo so valor da média amostral ($\bar{X}$) é um estimador pontual da média da população (μ), por exemplo.
- Uma Estimativa Intervalar para um parâmetro populacional se trata de um intervalo determinado por dois números, obtidos a partir de elementos amostrais, que espera-se que contenha o valor do parâmetro em questão, com dado nível de confiança ou probabilidade de (1 – α)%. Em termos práticos, geralmente o nível de confiança é utilizado em torno de 90%, 95% ou valores em torno dessa magnitude.

Para Werkema *et al* (1996), em muitas situações a informação retratada pela estimativa pontual não é suficiente, pois consiste em apenas um único número como estimativa do parâmetro populacional. Realizando a estimação pontualmente, desconhece-se a magnitude do erro que pode estar sendo cometido no processo. Nesse sentido, a ideia da estimação por intervalos é mais completa, pois ela permite que se construa um intervalo que contenha o verdadeiro valor do parâmetro em questão, dado um nível e confiança conhecido. O intervalo desse tipo recebe o nome de intervalo de confiança.

Werkema *et al* (1996) retratam que, para a construção de um intervalo de confiança para um parâmetro desconhecido θ, devem ser encontradas duas funções dos dados amostrais I e S, sendo que a seguinte probabilidade seja válida antes da extração da amostra:

$$P(I \leq \theta \leq S) = 1 - \alpha \qquad (10)$$

Sendo o intervalo abaixo

$$I \leq \theta \leq S \qquad (11)$$

Denomidado intervalo de 100(1 - α)% de confiança para o parâmetro θ. Os valores I e S são conhecidos como sendo os limites de confiança inferior e superior, respectivamente; e 1 – α é denominado o coeficiente de confiança do intervalo.

A figura 8 retrata o significado de um intervalo de confiança. (IC) para μ, com o coeficiente de confiança $\gamma = 0{,}95$ e conhecido o σ^2 .

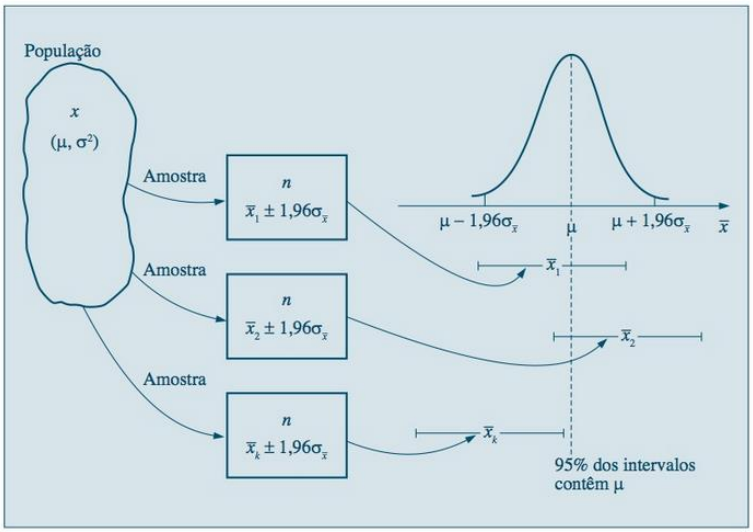


Figura 8 – Significado do Intervalo de Confiança (IC)
Fonte: MORETTIN & BUSSAB (2012).

1.15 TESTE DE HIPÓTESES

Em muitos problemas de engenharia, há a necessidade de se aceitar ou rejeitar uma afirmação feita acerca de uma de algum parâmetro. Essa informação recebe o nome de hipótese. O procedimento de tomada de decisão sobre aceitar ou rejeitar essa hipótese recebe o nome de teste de hipóteses, sendo esse um dos mais úteis aspectos no campo da inferência estatística. Uma hipótese estatística é uma afirmação sobre os parâmetros de uma ou mais populações (MONTGOMERY & RUNGER, 2009).

Em um teste de hipóteses são consideradas duas hipóteses: as hipótese nula e a hipótese alternativa. Ao desenvolver o processo do teste de hipótese, deve-se saber precisamente, *a priori*, o que se esperar quando a hipótese é verdadeira. Por essa razão é que, frequentemente, formula-se hipóteses contrárias àquilo que se deseja provar. A expressão "Hipótese Nula", designada por H_0, é usada para qualquer hipótese estabelecida prioritariamente para verificar se ela pode ser rejeitada. A hipótese adotada como alternativa à hipótese nula, isto é, a hipótese que é aceita quando rejeita-se H_0, é chamada hipótese alternativa e grafada por H_1. Ela deve sempre ser formulada conjuntamente com a hipótese nula pois, caso contrário, não se saberia quando rejeiar H_0 (FREUND, 2007).

Para Doane e Seward (2011), uma das afirmações acerca do parâmetro em estudo deve ser verdade, mas não as duas concomitantemente. Dessa forma tem-se:

H_0: Hipótese Nula

H_1: Hipótese alternativa.

As duas informações são designadas de hipóteses, pois a verdade é desconhecida. Nesse sentido, esforços são feitos no sentido de se rejeitar a hipótese nula (representante do *status quo*). Caso a hipótese nula seja rejeitada, conclui-se que a hipótese alternativa H_1 é a verdadeira. Não se pode provar a hipótese nula, pode-se apenas em falhar em rejeitá-la, em favor de H_1.

Segundo Werkema *et al* (1996):

> a hipótese nula é uma afirmação sobre um parâmetro da população que será considerada verdadeira até que seja obtida alguma prova em contrário. A hipótese nula é representada por H_0. A hipótese alternativa é uma afirmação sobre um parâmetro populacional que será considerada verdadeira se a hipótese nula for julgada falsa. A hipótese alternativa é representada por H_1.

O procedimento de teste de hipótese se apóia no uso de uma amostra aleatória proveniente de uma população de interesse. Caso a informação seja consistente com a hipótese, ela não é rejeitada. Caso contrário, conclui-se que a hipótese firmada é falsa. A menos que se possa examinar a população inteira, a veracidade da informação de uma hipótese particular pode nunca ser conhecida com certeza. Desse modo, o procedimento de teste de hipóteses deveria ser desenvolvido tendo-se em mente a probabilidade de se errar em suas conclusões (MONTGOMERY & RUNGER, 2009).

De acordo com Doane e Seward (2011), algum valor particular θ_0 é o centro de interesse a realização do teste de hipóteses. Se o verdadeiro valor de θ for θ_0, então é esperado que uma estimativa amostral não estaja muito distante de θ_0. Deve-se verificar então, se a estimativa amostral está longe o suficiente de θ_0 para contradizer a suposição $\theta = \theta_0$.

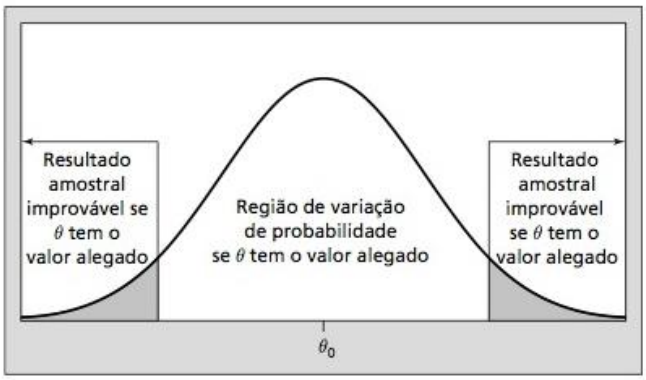


Figura 9 – Resultado em uma distribuição amostral
Fonte: DOANE & SEWARD (2011).

Montgomery e Runger (2009) denominam a região central da figura 9, na cor branca, como sendo região de aceitação. As regiões à esquerda e direita coloridas na cor cinza recebem o nome de região crítica. Os limites dos valores entre a região de aceitação e a região crítica são denominados valores críticos.

Para Werkema *et al* (1996), a estatística de teste pode é definida como sendo o valor da variável aleatoria cujo valor é utilizado para a determinação da decisão a ser tomada em um teste de hipóteses. A região crítica de um teste de hipóteses é constituída pelos valores da estatística de teste que fornecem fortes evidências contra a hipótese nula. A obtenção de um valor da estatística de teste na região crítica leva à rejeição de H_0.

Ainda para Werkema *et al* (1996), ao se trabalhar com testes de hipóteses estár-se-à sujeito ao cometimento de erros. Sendo eles:

Erro Tipo I: rejeitar a hipótese nula H_0 quando H_0 é verdadeira. É dado por α a probabilidade de que o erro tipo I seja cometido:

$$\alpha = P(\text{Erro tipo I}) = P(\text{ Rejeitar } H_0 \mid H_0 \text{ é verdadeira})$$

Essa probabilidade α recebe o nome de nível de significância do teste.

Erro Tipo II: falhar em rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é falsa. É dado por β a probabilidade de que o erro tipo II seja cometido:

$$\beta = P(\text{Erro tipo II}) = P(\text{Falhar em Rejeitar } H_0 \mid H_0 \text{ é falsa})$$

A tabela 3 ilustra as decisões e os erros associados às hipóteses nula e alternativa.

Tabela 3 – Decisões possíveis e seus erros associados
Fonte: WERKEMA (1996).

Situação Real	Decisão	
	Aceitação da Hipótese H_0	Rejeição da Hipótese H_0
Hipótese H_0	Correto *Probabilidade* $(1-\alpha)$	Erro Tipo I *Probabilidade* (α)
Hipótese H_1	Erro Tipo II *Probabilidade* (β)	Correto *Probabilidade* $(1-\beta)$

Em relação à probabilidade de reijeição da hipótese nula quando ela é falsa, Werkema *et al* (1996) descreve como sendo o poder de um teste de hipóteses a probabilidade de rejeição da hipótese nula H_0 quando H_0 for falsa. De outra forma:

P(Rejeitar H_0 | H_0 é falsa) = 1- P(Falhar em Rejeitar H_0 | H_0 é falsa) = 1 – β

1.16 TESTES UNILATERAIS E BILATERAIS

De acordo com Werkema *et al* (1996), o teste bilateral é aquele que rejeita a hipótese nula H_0 se o valor da estatística de teste for significativamente diferente (maior ou menor) que o valor estabelecido para o parâmetro populacional em H_0 .

O teste unilateral à direita é aquele que rejeita a hipótese nula H_0 se o valor assumido da estatística de teste for significativamente maior que o valor estabelecido para o parâmetro populacional em H_0. O teste unilateral à esquerda segue o mesmo raciocínio, rejeitando o valor de H_0 se o valor assumido pela estatística de teste for significativamente menor que o parâmetro populacional estabelecido em H_0 (WERKEMA *et al*, 1996).

1.17 VALOR-P NOS TESTES DE HIPÓTESES

Segundo Werkema *et al* (1996), "o valor-p ou probabilidade de significância é a probabilidade de ocorrência do valor particular observado para a estatística de teste ou de valores mais extremos, na direção da região crítica, quando a hipótese nula H_0 é verdadeira". Montgomery e Runger (2009) caracteriza o valor-p como sendo a probabilidade de que a estatística de teste assuma um valor no mínimo tão extremo quanto o valor observado na estatística quando a hipótese nula for verdadeira. Dessa forma, o valor-p carrega muita evidência contra H_0. A vantagem desse método é que o tomador de decisão terá uma ideia sobre a distância que o valor da estatística de teste estava da região de rejeição, se muito próximo ou muito distante, podendo tirar conclusões com qualquer nível de significância especificado.

1.18 RELAÇÃO ENTRE TESTES DE HIPÓTESE E INTERVALO DE CONFIANÇA

Montgomery e Runger (2009) apontam para a existência de uma íntima relação entre testes de hipóteses e intervalos de confiança. Se [limite inferior, limite superior] for um intervalo de confiança acerca de um parâmetro θ, de magnitude 100(1 – α)%, o teste de tamanho α das hipóteses

H_0: $\theta = \theta_0$

H_1: $\theta \neq \theta_0$

conduzirà à rejeição de H_0 se e somente se θ_0 não estiver no intervalo de confiança [limite inferior, limite superior] de $100(1 - \alpha)\%$. Embora equivalentes, as informações reveladas pelos testes de hipóteses e intervalos de confiança fornecem tipos diferentes de conhecimento. Para exemplificação, ao passo que o IC fornece, à um nível de confiança estabelecido, faixas de valores prováveis para um determinado parâmetro, pelo teste de hipóteses dispõe-se facilmente dos riscos associados à afirmação, como o valor-P.

É ainda proposto por Montgomery e Runger (2009) um procedimento geral para o desenvolvimento de testes de hipóteses:

1. Identificação do parâmetro de interesse, a partir do contexto do problema;
2. Definição da hipótese nula H_0;
3. Definição da hipótese alternativa H_1;
4. Escolher o nível de significância α;
5. Determinação da estatística de teste apropriada;
6. Definir a região de rejeição para a estatística de teste;
7. Calcular os valores amostrais necessários e substituir esses valores na estatística de teste utilizada;
8. Decidir se H_0 deve ou não ser rejeitada e reportando a conclusão no contexto do problema.

1.19 INFERÊNCIA NA DIFERENÇA DE DUAS MÉDIAS, VARIÂNCIAS DESCONHECIDOS E SUPOSTAS DIFERENTES

1.20 DISTRIBUIÇÃO T

Seja Z uma variável aleatória normalmente distribuída, com média 0 e desvio padrão unitário, denotada por $N \sim (0,1)$ e Y uma variável aleatória $\chi^2(\nu)$, com Z e Y independentes. Então a variável aleatória

$$t = \frac{Z}{\sqrt{Y/\nu}} \qquad (12)$$

tem densidade denotada por

$$f(t;\nu) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)\sqrt{\pi\nu}}\left(1+\frac{t^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}}, \qquad -\infty < t < \infty \qquad (13)$$

diz-se que tal variável possui uma *distribuição t de Student com v graus de liberdade* e indicar-se-á por *t(v)* (MORETTIN & BUSSAB, 2012). Os valores da distribuição *t* estão descritos no anexo II. A ilustração da distribuição *t* segue retratada na figura 10.

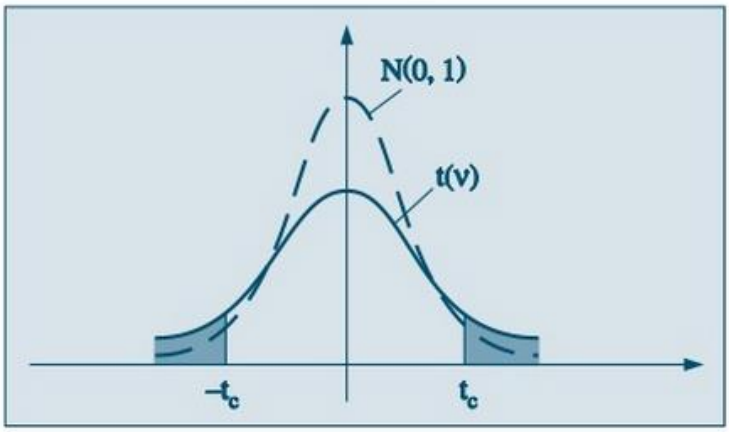


Figura 10 – Distribuição *t* de Student e a normal padrão
Fonte: Morettin & Bussab (2012).

1.21 VALOR-P NO TESTE T

De acordo com Werkema *et al* (1996), o valor-p de um teste *t* é calculado com base na tabela da distribuição *t* de Student. Montgomery e Runger (2009) ainda relatam que o valor-p de um teste *t* é apenas o menor nível de significância no qual a hipótese nula seria rejeitada.

1.22 INTERVALO DE CONFIANÇA

Doane e Seward (2011) relatam que distribuição *t* é utilizada em situações em que a população é bem aproximada pela normal, mas se desconhece o seu desvio padrão σ. Essa distribuição é particularmente útil para amostras pequenas. Em seu intervalo de confiança, σ é substituído por seu estimador amostral *s*,

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \tag{14}$$

redundando em:

$$\bar{x} \pm t\frac{s}{\sqrt{n}} \tag{15}$$

De acordo com Montgomery e Runger (2009), nos casos de inferência na diferença de médias de duas amostras, com variâncias supostas desconhecidas, dois procedimentos podem ser utilizados:

- Se os tamanhos das amostras a serem testadas forem suficientemente grandes, excedendo as 40 amostras, procedimentos envolvendo o teste Z de diferenças de médias podem ser usados;
- Quando os tamanhos das amostras são pequenos e considera-se as populações normalmente distribuídas, baseia-se os testes de hipótese e intervalos de confiança na distribuição *t*.

Navidi (2012) aborda que muitos pacotes de softwares se valem da estatística *t* sempre que um desvio padrão amostral for usado para estimar um desvio padrão populacional. Quando o tamanho da amostra *n* for grande, a diferença entre *t* e *z* é desprezível para fins práticos. Dessa forma, dada a consideração prática e o tamanho amostral adotado, nesse trabalho será utilizado o teste *t*.

De acordo com Montgomery e Runger (2009) o teste de hipóteses a ser realizado então será:

H_0: $\mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$

H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$

Que é a verificação de que se existem diferenças nas médias das duas amostras, sem a determinação de um valor-alvo. Nesse caso, Δ_0 assumirá valor nulo, sendo $\Delta_0 = 0$.

No caso de se supor duas populações normais, independentes, variâncias desconhecidas, consideradas diferentes $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, um resultado aproximado da estatística *t* se dá por

$$T_0^* = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2} - \Delta_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \tag{16}$$

se H_0: μ_1 - μ_2 = Δ_0 for verdadeira, então a estatística descrita na equação 16 será distribuída normalmente como *t*, com graus de liberdade dados por

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_{21}}\right)^2}{n_2 - 1}} \tag{17}$$

arredondando ν para o menor inteiro mais próximo. Lembrando que o valor da variância é estimado com base na amostra, sendo sua equação

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \tag{18}$$

e usando o fato de

$$T^* = \frac{[\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)]}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \tag{19}$$

ser distribuído normalmente como *t*, com ν graus de liberdade, o intervalo de confiança de 100(1 – α)% da diferença de médias $\mu_1 - \mu_2$ nesse caso é descrito por

$$\bar{x}_{1-}\,\bar{x}_2 - t_{\frac{\alpha}{2},\nu}\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{x}_{1-}\,\bar{x}_2 + t_{\frac{\alpha}{2},\nu}\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}} \quad (20)$$

Sendo $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, s_1^2 e s_2^2 médias e variâncias de duas amostras aleatórias de tamanhos n_1 e n_2, respectivamente, advindas de duas populações normais independentes, com variâncias desconhecidas e desiguais; e sendo $t_{\frac{\alpha}{2},\nu}$ o ponto percentual superior de $\frac{\alpha}{2}$ da distribuição *t*, com ν graus de liberdade (MONTGOMERY & RUNGER, 2009).

1.23 ERRO TIPO II NO TESTE T SUPONDO VARIÂNCIAS DESCONHECIDAS MAS DISTINTAS

Infelizmente, quando $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, a distribuição T_0^* será desconhecida se a hipótese nula for falsa, não existindo curvas característica operacionais disponíveis para esse caso (MONTGOMERY & RUNGER, 2009).

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MRS LOGÍSTICA

A MRS Logística é a concessionária que controla, opera e monitora a Malha Sudeste da extinta Rede Ferroviária Federal (RFFSA). A empresa atua no mercado desde 1996, interligando três estados do Sudeste: Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Em relação à sua extensão, são 1.643 quilômetros de malha ferroviária, distribuídos numa região em que estão instalados os maiores complexos industriais do país (MRS Logística, 2014).

O negócio da MRS Logística estabelece-se no transporte ferroviário de cargas gerais de minérios, produtos siderúrgicos acabados, cimento, bauxita, produtos agrícolas, coque verde e conteineres. O desempenho econômico financeiro da MRS Logística vem sofrendo considerável melhoria ao longo dos ano, fato ilustrado em seu Relatório Anual 2013 (MRS LOGÍSTICA, 2014). Na tabela 4 poder ser verificados os ganhos no resultado financeiro e no desempenho operacional, no que se refere à tonelagem transportada.

Tabela 4 – Indicadores financeiros e operacionais
Fonte: MRS Logística (2014).

MRS em Números - Principais indicadores

Milhões R$	2010*	2011	2012	2013	2013 x 2012
Receita Operacional Bruta	2.485,3	3.123,5	3.266,7	3.323,3	1,7%
Receita Operacional Líquida	2.247,1	2.862,4	2.989,8	3.038,1	1,6%
EBITDA	808,3	1.185,8	1.117,1	1.217,5	9,0%
Margem EBITDA	36,0%	41,4%	37,4%	40,1%	2,7pp
Lucro Líquido	438,8	520,9	440,1	469,4	6,6%
Dívida Bruta	1.874,0	2.306,4	2.612,4	2.856,2	9,3%
Dívida Líquida	1.469,0	1.883,1	2.280,9	2.385,1	4,6%
Dívida Líquida/EBITDA	*1,82x*	*1,59x*	*2,04x*	*1,96x*	-3,9%

*Ano impactado por eventos não recorrentes.

Milhões de Toneladas Úteis	2010	2011	2012	2013	2013 x 2012
Volume Transportado	144,1	152,4	155,4	156,1	0,6%

O volume transportado multiplicado pela distância, forma a grandeza TKU (DIÓGENES, 2002). Na MRS Logística a TKU também têm sofrido acréscimo ao longo do período, como pode ser verificado no gráfico 2.

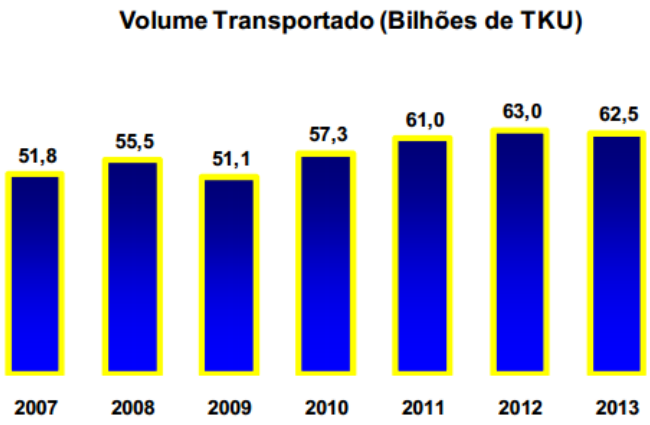


Gráfico 2 – Volume transportado
Fonte: MRS Logística (2014).

De acordo Pereira (2009), "a eficiência energética representa o consumo de óleo diesel das locomotivas dividido pela carga transportada e pela distância de um determinado trecho". Nesse sentido, dado o aumento da TKU, seria intuitivo supor um aumento no gasto de combustível, de forma proporcional.

Entretanto, de acordo com o Relatório Anual 2013 da MRS, a afirmação acima não se confirma. A TKU transportada vem sofrendo aumento, ao passo a quantidade de combustível para realizar o transporte vem sofrendo reduções ao longo do tempo, como mostrado no gráfico 3.

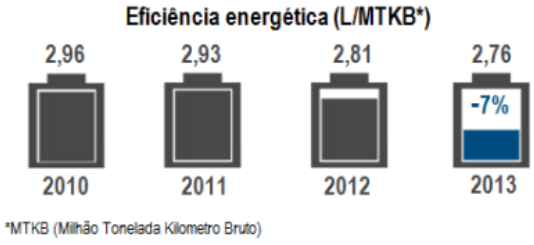


Gráfico 3 – Evolução do indicador de EE
Fonte: MRS Logística (2014).

Esse fato se constitui pelo investimento, por parte da MRS Logística, em equipamentos e melhoria operacional, no sentido de otimizar a quantidade de combustível utilizada para realizar o transporte da mercadoria. Dada a melhoria operacional, o consumo proporcional vem sofrendo queda ao longo do tempo.

Partindo do pressuporto de que o consumo de combustível atua como um dos principais custos da empresa, justifica-se a contínua perseguição pela redução do consumo, ou seja, a melhoria da Eficiência Energética.

DESENVOLVIMENTO

Esse capítulo tem por objetivo relatar as ferramentas e os procedimentos adotados no levantamento e tratamento do valores de consumo de combustível levantados, na ausência e na presença do sistema de gerenciamento de atrito. Tem-se por tarefa também apresentar os resultados encontrados no decorrer do estudo e, como citado por Hair (2005), duscutir sua significância estatística e prática.

1.24 DELINEAMENTO DO LEVANTAMENTO DOS DADOS

Precedendo ao levamento de informações, configura-se sendo necessária a definição clara dos objetivos de estudo, devendo essa definição ser anterior ao processo de coleta de dados. Após o delineamento dos objetivos, que se concretizam como sendo características da população, deve-se proceder ao o levantamento e sistematização da informação disponível que apresente-se relevante para a análise (REIS *et al*, 2008).

Como já referido, a MRS Logística possui cerca de 1643 quilômetros de via. O processo de amostragem iniciou-se pela definição dos trechos a serem estudados, dos quais os dados seriam levantados e analisados. Tendo em vista o objetivo em estudo, definiu-se que as informações seriam comparadas na *presença* e na *ausência* do sistema de gerenciamento de atrito, no mesmo trecho de análise. Por *ausência* define-se que os equipamentos que realizavam a lubrificação da face do trilho (GF) e o modificador de atrito do topo do trilho (TOR) foram completamente desligados, permitindo o levantamento dos dados do consumo com e sem a influência do sistema de gerenciamento de atrito.

O consumo de combustível será oriundo dos registros armazenados nas caixas-pretas dos trens. Nesses objetos ficam arquivadas várias informações referentes ao trabalho da locomotiva, bem como o consumo estimado dentre certos trechos de via.

Para Montgomery (2004), podem existir duas causas de variação no processo: as causas aleatórias e causas atribuíveis de variação. As causas aleatórias são inevitáveis e partes inerentes do processo. Diz-se que um processo está sob controle estatístico se existem apenas causas aleatórias de variação. Por outro lado, as causas atribuíveis podem e devem ser eliminadas o tanto quanto possível.

No intuito de mitigar as causas atribuíveis de variação, foram tomadas as configurações de trens mais padrões possíveis, de modo que proceder com a uniformidade dos

dados e propiciar um tamanho razoável de amostras. Serão avaliados apenas trens que transportam minério, conhecidos na indústria ferroviária como *heavy haul*, codificados na MRS Logística com a sigla N. Em relação à formação dos trens, optou-se pela formação padrão de 134 GDT vagões por composição. Os dados serão retirados das locomotivas na posição 1, conhecida no jargão ferroviário como "locomotiva da cabeça do trem". Apenas os dados da primeira locomotiva de cada trem serão analisados, devido à restrições operacionais. Os trens estudados são tanto vazios quanto carregados, de acordo com os trechos de análise. A opção por esse modelo de trem se deve ao fato de padronizar os dados que seriam colhidos. Todos os trens de sigla N possuem configurações parecidas de formação (locomotivas e vagões), o que contribui para a diminuição de causas assinaláveis de variação.

1.25 DEFINIÇÃO DA REGIÃO E HORIZONTE DE ANÁLISE

A MRS Logística possui hoje algumas regiões nas quais já existe o sistema de gerenciamento de atrito. No objetivo de mitigar as causas atribuíveis de variação, optou-se por realizar o levantamento dos dados nessas regiões, tendo em vista que seria possível o levantamento de dados na *presença* e na *ausência* do sistema.

Para Eadie *et al* (2013), a força lateral dos rodeiros sobre os trilhos são mais pronunciadas em curvas acentuadas, nas quais, em tese, os ganhos verificados pelo sistema de Gerenciamento de Atrito seriam maiores. Dado que o efeito do Gerenciamento de Atrito pode ser mais pronunciado em perfis de curva intensos e aliando esse fato à questões práticas operacionais da MRS, a região escolhida para o levantamento dos dados foi um trecho do ramal conhecido como Paraopeba. Dentre os critérios utilizados para a escolha dessa região, podem ser citados:

- Possibilidade de levantamento de informações na presença e na ausência de lubrificação;
- Grande quantidade de trens vazios e carregados que operam nessa região;
- Trecho com elevado índice de curvatura da linha;
- Outras limitações práticas negociadas com outras áreas da empresa.

A região escolhida para o levantamento dos dados é evidenciada na figura 11.

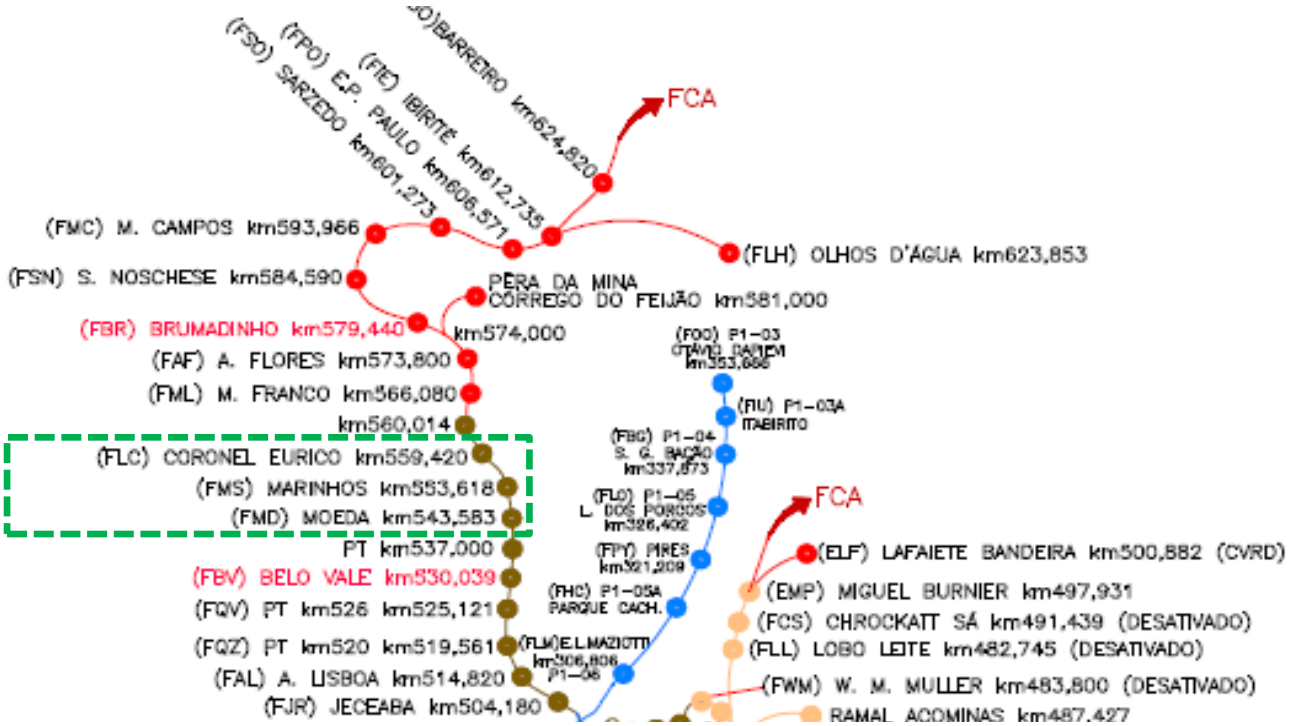
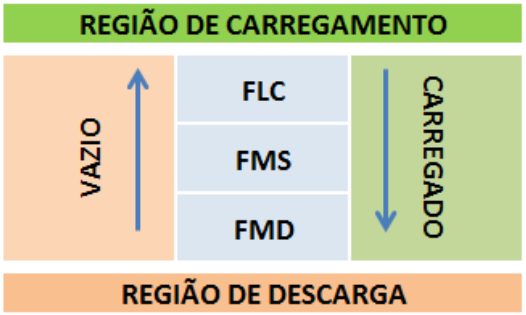


Figura 11 – Fragmento do mapa da malha da empresa
Fonte: Adaptado de MRS Logística (2013).

O trecho analisado é compreendido entre os quilômetros 543 até 559, abrigando três pátios: Pátio de Moeda (FMD), Pátio de Marinhos (FMS) e Pátio de Coronel Eurico (FLC). Nesse sentido, dois trechos que existem no entre-pátios foram analisados: FLC-FMS, com cerca de 6 quilômetros de extensão e FMS-FMD, com cerca de 10 quilômetros de extensão. O trecho FMD → FMS → FLC é o que contém os trens vazios, pois estes estão indo em direção ao carregamento. O trecho contrário, FLC → FMS → FMD, contém os trens carregados, as composições que estão saindo dos terminais de carregamento e indo em direção aos portos para a descarga do minério. A tabela 5 ilustra o exposto.

Tabela 5 – Sentidos de carga e descarga de trens
Fonte: O autor.



O levantamento ocorreu em dois períodos. O primeiro levantamento se estendeu entre os dias 19/12/2013 até o dia 02/01/2014, ínterim no qual os equipamentos de gerenciamento de atrito foram desativados, possibilitando a coleta de dados *sem* o sistema. Esse intervalo é menor do que o descrito no item 1.7. Essa diferença se deve ao fato de que optou-se por conceder um intervalo de ajuste entre o sistema ligado e desligado, para que os trilhos pudessem refletir o verdadeiro estado, sem influências passadas. Em um segundo momento, no período de 10/01/2014 à 15/04/2014, foram levantados os dados sobre o consumo de combustível com o sistema de Gerenciamento de Atrito reativado, novamente em operação.

Na tabela 6 tem-se o plano experimental utilizado. Ao todo foram levantadas 8 amostras.

Tabela 6 – Plano amostral para recolhimento dos dados por trecho, data e carregamento dos trens
Fonte: O autor.

	Desligado: 19/12/13 - 02/01/14		Ligado: 10/01/14 - 15/04/14	
	CARREGADO	**VAZIO**	**CARREGADO**	**VAZIO**
FLC - FMS	**Amostra 1**	**Amostra 3**	**Amostra 5**	**Amostra 7**
FMS - FMD	**Amostra 2**	**Amostra 4**	**Amostra 6**	**Amostra 8**

Devido ao período de levantameto, a quantidade de dados levantados na ausência de gerenciamento de atrito é menor que dos dados na presença do sistema. Isso se deve ao fato de que já é procedimento operacional da MRS Logística o funcionamento ininterrupto desse sistema, com face à segurança operacional e à diminuição do desgaste dos ativos. Os sistemas de gerenciamento de atrito foram especialmente desativados para que o presente estudo pudesse ser conduzido.

1.26 TRATAMENTO E SELEÇÃO DOS DADOS

Foram levantadas centenas de dados dos trechos estudados. O resultado final das análises estatísticas das informações amostradas pode ser visto no anexo 1. Para evitar o impacto dos extremos na amostra, Cochran (1965) sugere o uso da mediana ou da retirada dos extremos, caso os mesmos não reflitam a realidade esperada. Para Montgomery e Runger (2009), em relação aos procedimentos de inferência de duas médias, o tamanho da amostra deve ser de $n > 40$, para que possa ter efeito o TLC e ser possível o estabelecimento

conclusões com confiança, quando as amostras não são bem aproximadas pela distribuição normal. No resumo estatístico das amostras apresentado no anexo 1, pode ser verificado que nem todas as amostras são bem aproximadas pela normal, o que motivou à escolha de um tamanho de amostra razoavelmente grande, para se beneficar do proposto pelo TLC.

Dado o exposto acima, optou-se por trabalhar com os 50 dados centrais de cada amostra levantada, de modo a mitigar a influência de dados extremos como descrito por Cochran (1965), e tendo em vista garantir a uniformidade das amostras, utilizando o mesmo procedimento para todas elas.

RESULTADOS

Os resultados foram obtidos utilizando-se o *sowftware Minitab 17* ®. Os procedimentos estatísticos abordados estão dentro do campo da inferência estatística, sendo eles os testes de hipótese e intervalo de confiança. As técnicas utilizadas são para inferência na diferença de médias de amostras independentes, de variâncias desconhecidas e supostas desiguais.

De acordo com Montgomery e Runger (2009), se as amostras forem suficientemente grandes, $n > 40$, não é necessária premissa de normalidade dos dados, pois pelo TLC, a distribuição amostral da média pode ser bem aproximada pela normal. Isso torna possível a utilização do teste Z de diferença de médias, desde que o fosse estimada a variância, dado que ela é desconhecida. Navidi (2012) relata que muitos pacotes de softwares se valem da estatística *t* sempre que um desvio padrão amostral for usado para estimar um desvio padrão populacional. Quando o tamanho da amostra *n* for grande, a diferença entre os testes *t* e *z* é desprezível para fins práticos. Haja visto o exposto, para a realização do teste de hipóteses e a determinação do intervalo de confiança, utilizou-se no presente trabalho o teste *T* de diferença de médias. Os resultados estão resumidos na tabela 7.

Tabela 7 – Resumo dos resultados
Fonte: O autor.

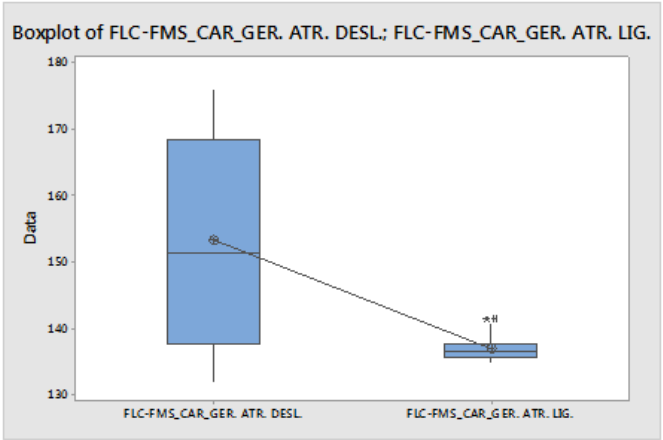
Trecho	Trem	Diferença	Estimativa para a dif.	IC		H_0	P-Value	% Econ.
FLC-FMS	CAR	DES. - LIG.	16,26	11,7	20,8	$\mu_D - \mu_L = 0$	0	10,61%
FMS-FMD			5,307	3,58	7,03		0	7,50%
FMS-FLC	VAZ		5,046	4,41	5,68		0	55,39%
FMD-FMS			**-1,107**	**-2,45**	**0,23**		**0,103**	**-1,11%**

Onde:

- Desl. – Lig.: significa a diferença dos consumos *sem* e *com* o sistema de gerenciamento de atrito;
- $\mu_D - \mu_L$: indica a diferença das médias com sem e com o sistema de gerenciamento de atrito;

Para cada trecho em estudo, foram plotados gráficos *box-plot*, que mostram as dispersões dos dados e realizam a comparação entre os valores de consumo de combustível *com* e *sem* gerenciamento de atrito. A esses gráficos permitem resumir os dados e verificar sua variabilidade. A comparação lado a lado dos valores do consumo *com* e *sem* lubrificação permitem depreender, de forma rápida, o impacto que o GA pode causar no consumo.

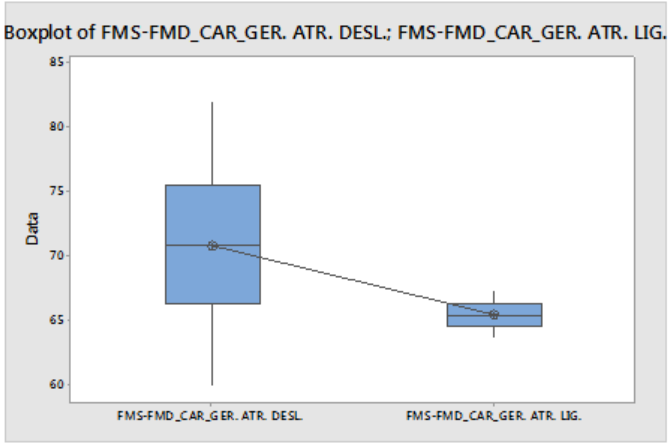
Juntamente com os gráficos, compondo os quadros, estão as saídas numéricas da análise estatística. Nelas são retratadas as medidas que carcterizam a amostra, bem como os resultados dos teste de hipóteses e os intervalos de confiança. As informações estão nos quadros 1, 2, 3 e 4.




```
Two-sample T for FLC-FMS_CAR_GER. ATR. DESL. vs FLC-FMS_CAR_GER. ATR. LIG.

Difference = μ (FLC-FMS_CAR_GER. ATR. DESL.) - μ (FLC-FMS_CAR_GER. ATR. LIG.)
Estimate for difference:  16,26
95% CI for difference:  (11,69; 20,83)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 7,14  P-Value = 0,000  DF = 50
```

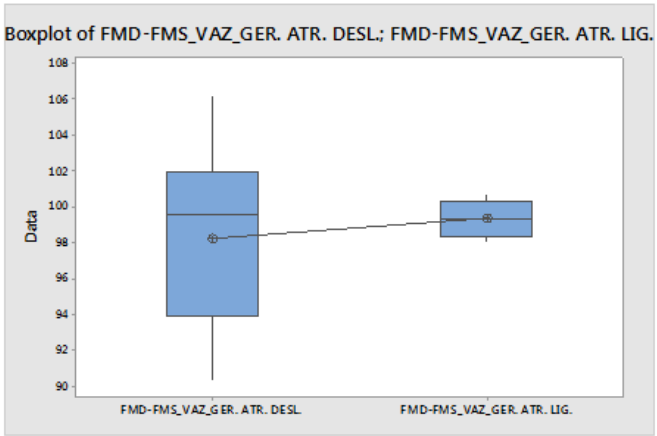
Quadro 1 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FLC-FMS, trens carregados e GA desligado e ligado, respectivamente
Fonte: O autor.




```
Two-sample T for FMS-FMD_CAR_GER. ATR. DESL. vs FMS-FMD_CAR_GER. ATR. LIG.


Difference = μ (FMS-FMD_CAR_GER. ATR. DESL.) - μ (FMS-FMD_CAR_GER. ATR. LIG.)
Estimate for difference:  5,307
95% CI for difference:  (3,583; 7,032)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 6,18  P-Value = 0,000  DF = 52
```

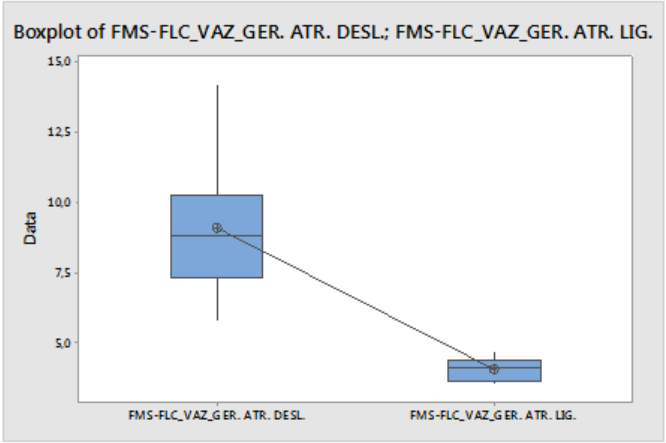
Quadro 2 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FMS-FMD, trens carregados e GA desligado e ligado, respectivamente
Fonte: O autor.




```
Two-sample T for FMD-FMS_VAZ_GER. ATR. DESL. vs FMD-FMS_VAZ_GER. ATR. LIG.


Difference = μ (FMD-FMS_VAZ_GER. ATR. DESL.) - μ (FMD-FMS_VAZ_GER. ATR. LIG.)
Estimate for difference:  -1,107
95% CI for difference:  (-2,446; 0,231)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = -1,66  P-Value = 0,103  DF = 53
```

Quadro 3 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FMS-FMD, trens vazios e GA desligado e ligado, respectivamente
Fonte: O autor.




```
Two-sample T for FMS-FLC_VAZ_GER. ATR. DESL. vs FMS-FLC_VAZ_GER. ATR. LIG.


Difference = μ (FMS-FLC_VAZ_GER. ATR. DESL.) - μ (FMS-FLC_VAZ_GER. ATR. LIG.)
Estimate for difference:  5,046
95% CI for difference:  (4,410; 5,682)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 15,93  P-Value = 0,000  DF = 51
```

Quadro 4 – *Box-plot* e resultados das análises estatísticas dos dados do consumo no trecho FMS-FLC, trens vazios e GA desligado e ligado, respectivamente
Fonte: O autor.

Tabela 8 – Médias dos consumos por amostra.
Fonte: O autor.

	GA Desl.		GA Lig.	
	CAR	VAZ	CAR	VAZ
FLC - FMS	153,2	9,11	136,96	4,062
FMS - FMD	70,76	98,24	65,45	99,35

1.27 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode ser verificado nos quadros 1, 2 e 4, nos três trechos FLC-FMS, FMS-FMD e FMS-FLC são apresentadas diminuições substanciais no consumo de combustível, quando o sistema de Gerenciamento de Atrito encontra-se ligado. De acordo com CARMO (2012), os ganhos devidos à implementação do Gerenciamento de Atrito na *Canadian Pacific Railway* vão de 1,4% a 3,3% e para o estudo realizado pelo *FAST*, esses ganhos são da ordem de 3% a 15%.

Os resultados encontrados neste trabalho estão diretamente ligados às condições operacionais da empresa, ao perfil da via e à qualidade dos dados amostrados.

Nos trechos FLC-FMS, FMS-FMD e FMS-FLC, os ganhos verificados são de 10,61% 7,50% e 55,39%, respectivamente. Como abordado na tabela 7 e nos quadros de 1, 2 e 4, os testes de hipóteses rejeitam com veemência a hipótese nula de igualdade de médias, dado o valor-p = 0,00 nesses três casos, a um nível de significância $\alpha = 0,05$. Aliado ao teste de hipóteses, os intervalos de confiança também corroboram o fato de existirem diferenças entre as médias, pois neles não se verifica a presença do valor 0. Esses resultados demonstram que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias de consumo de combustível na ausência e na presença do GA, sendo o consumo menor na presença do sistema. Os cálculos fornecem também uma estimativa da diferença dessas médias, que foi utilizada para estimar o ganho percentual da utilização do sistema de gerenciamento de atrito, como pode ser verificado na tabela 7.

Os valores dos dois primeiros trechos acima citados encontram-se dentro do esperado, dadas as referências de literatura já abordadas. O resultado discrepante é o apresentado no trecho FMS-FLC, onde se verifica um ganho de 55,39%. Nesse trecho especificamente, os trens estão com seus vagões vazios e no sentido descida, considerando todo o trecho. Em termos operacionais, em casos como este o consumo é naturalmente menor do que em outros desenhos operacionais. Na tabela 8, pode-se verificar que consumo médio na ausência do GA é de 9,11 litros, ao passo que na presença é de 4,062. Dado o baixo valor do uso de combustível, qualquer economia verificada apresentará ganhos relativos altos. Deve-se levar também em consideração que o consumo estimado é medido indiretamente com base nas informações retiradas das caixas-pretas, o que sugere que o valor de 55,39% de ganho seja interpretado com parcimônia, dadas as condições.

De todos os trechos analisados, o único que não apresenta ganhos significativos é o trecho FMD-FMS, evidenciado no quadro 3. Nesse trecho, não é possível rejeitar a hipótese nula de iguladade nos consumos. À um nível de significância $\alpha = 0,05$ em um teste bilateral, o valor-p = 0,103 indica a inexistência de evidências para que a hipótese nula seja rejeitada. O mesmo fato é ilustrado pelo intervalo de confiança, que contém o valor nulo, ilustrando a igualdade das médias. Nesse sentido, conclui-se que não existe diferença estatística significativa entre os consumos na presença e na ausência do sistema de gerenciamento de atrito para o trecho em questão. Esse fato é justificado pelas condições operacionais nas quais os dados foram adquiridos.

De acordo com Eadie *et al* (2013) os ganhos trazidos pelo Gerenciamento de Atrito são mais pronunciados em regiões com curvaturas mais pronunciadas, pois a força exercida pelas rodas sobre os trilhos é maior. Dado o exposto, quanto maior a força exercida pelo trem,

maior o ganho em potencial. Tendo em vista que os trens carregados exercem maior força sobre os trilhos que os trens vazios, espera-se que os ganhos nos trens carregados sejam maiores do que nos trens vazios. Outro importante contribuinte para o consumo é a inclinação da via. Verificou-se que o consumo do trem é muito mais influencido pelo perfil de inclinação da via do que pela sua curvatura.

No trecho FMD-FMS o trem opera na condição de vazio e de aclive. Os efeitos são menos pronunciados pelo fato de o trem exercer menos força sobre os trilhos do que exerceria se estivesse carregado. Outro fato importante é o aclive, item que se pronuncia mais que o perfil de curvatura da via, sendo o maior responsável pelo consumo de combustível, tornando meior o efeito relativo da curvatura da via.

Esses fatos estão retratados nos resultados da inferência da diferença de duas médias para o trecho em questão. As condições operacionais sugerem que os ganhos não sejam tão pronunciados nesse trecho da via, e os resultados dos procedimentos utilizados vão ao encontro desse fato. Como verificado, os resultados do teste de hipóteses e intervalo de confiança são inconclusivos para o trecho em causa. O que ilustra o fato de o ganho devido ao gerenciamento de atrito ser menos pronunciado em trechos com menor força do trem sobre o trilho. Nesse caso, verifica-se que não existem provas de ganho por meio do GA.

CONCLUSÃO

O trabalho tem o objetivo de verificar o impacto do Gerenciamento de Atrito no consumo de combustível de uma ferrovia com características particulares. Confirmada a existência desse impacto, o segundo passo é a mensuração do mesmo. Os procedimentos adotados calcam-se na inferência estatística, nomeadamente os testes de hipóteses e intervalos de confiança. Foram escolhidos esses pois mostraram-se mais apropriados ao o objetivo proposto.

As hipóteses levantadas referem-se ao efeito colateral benéfico do uso do sistema de Gerenciamento de Atrito: a economia no consumo de combustível. Por meio do uso das técnicas de teste de hipóteses e intervlaos de confiança, verificou-se que os ganhos realmente existem e são expressivos, dado o grande volume que é operado na indústria ferroviária. Dos quatro trechos escolhidos, em três deles verificou-se que há ganhos substanciais, ao passo que no último não foi possível definir se existem – ou não – ganhos significativos.

A quantidade de amostras configurou-se como fator importante no desenvolvimento do trabalho. Apenas dois trechos puderam ser analisados em um universo consideravelmente maior, quando analisada toda a malha da MRS. A existência de outros trechos com perfis parecidos se faz necessária para corroborar as informações levantadas e melhor estimar os ganhos no consumo de combustível.

O objetivo desse trabalho foi alcançado, na medida em que o uso das ferramentas adotadas conduziram à resposta das questões propostas: a da existência de ganhos no consumo de combustível pelo uso do Gerenciamento de Atrito, bem como a estimação da magnitude desses.

1.28 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Eadie *et al* (2013) salientam a existência de poucos trabalhos sobre o ganho do *TOR-FM* em regiões de curva apertada (onde, em tese, o ganho é maior), e quase nenhum trabalho em regiões de curvas rasas ou tangentes. Nesse trabalho, devido às condições das amostras, as análises ficaram essencialmente alicerçadas no perfil da via e o tipo de carregamento do trem, não abordando detalhadamente questões de perfil de curvatura de via. Nesse sentido, essa vertente de análise configura-se com sendo um campo ainda pouco explorado nos estudos e de muitas possibilidades.

No desenvolvimento do trabalho, verificou-se a carência de estudos nacionais sobre o tema. As pesquisas conduzidas são prioritariamente estrangeiras, sendo demasiadamente maiores na América do Norte, que possui um perfil de via diferente do brasileiro. Dessa forma, acredita-se que sejam necessários mais estudos que envolvam o tema e levem em consideração as particularidades da ferrrovia nacional.

Um fator de grande importância quando se utiliza ferramentas estatísticas para esse tipo de análise é a quantidade de trechos analisados. Neste trabalho, devido às condições operacionais da empresa estudada, apenas dois trechos foram abordados. É de suma importância realizar-se pesquisas que abranjam um maior número de trechos, permitindo a comparação entre perfis parecidos de modo a mensurar, da melhor maneira possível e maus acuradamente, o ganho estimado no uso do sistema de Gerenciamento de Atrito.

No presente estudo foi utilizado o procedimento de inferência estatística. Em um momento preliminar do desenvolvimento do mesmo, foram implementadas técnicas de Planejamento de Experimentos no objetivo de se caracterizar os dados, verificar a interação entre os fatores e estimar o ganho dado pelo Gerenciamento de Atrito. Devido ao pequeno número de amostras e condições operacionais nas quais os dados foram angariados, essa ferramenta foi preterida em detrimento aos procedimentos de inferência estatística, pois os últimos se adequam melhor ao objetivo proposto. Sendo assim, dado o objetivo da pesquisa e de posse de amostras em tamanhos e quantidade de necessárias, a ferramenta Planejamento de Experimentos figura como sendo um ótimo procedimento a ser utilizado e que pode fornecer respostas importantes acerca do tema.

O autor ainda aponta que os estudos podem ser desenvolvidos tanto com dados coletados de simulações computacionais, quanto dados reais, que foi o caso desse trabalho. Técnicas com abordagens físicas ou estatísticas certamente possuem solo fértil dentro deste tema, de que forma alguma foi esgotado com o presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 7ª ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2010. Disponível em: http://www.inf.ufsc.br/~verav/TABELAS%20DE%20PROBABILIDADE/Tabela_Dist_t.pdf. Acesso em 10 jul. 2014.

CARMO. R., C. **Procedimento para implantação de gerenciamento do atrito em uma ferrovia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2012.

COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem**. John Wiley & Sons, Inc., New York. Rio de Janeiro: USAID, 1965.

DIÓGENES, G., S. **Uma contribuição ao estudo dos indicadores de desempenho operacional de ferrovias de carga: o caso da companhia ferroviária do nordeste - CFN**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

DOANE, D. P.; SEWARD, L, E. **Estatística aplicada à Administração e Economia** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: AMGH, 2011.

EADIE, D., T., *et al*. **Locomotive fuel savings with Top of Rail friction control: Connecting theory and field results**. 10th International Heavy Haul Association Conference, New Delhi, 2013.

EADIE, D.; BOVEY, T. E.; KALOUSEK, J. **The role of friction control in effective managemente of the wheel / rail interface.** The Railway Technology Conference, Reino Unido, 2002.

FREUND, J. E. **Estatística aplicada [recurso eletrônico] : economia, administração e contabilidade**. 11ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAM, R.; BLACK, W. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARTINS, G. A.; DOMINGUES, O. **Estatística Geral e Aplicada**. 4ª ed. São Paulo: Altas, 2011.

MIGUEL, P. A. C. *et al*. (Org). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2010.

MONTGOMERY, D.; RUNGER G. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. John Wiley & Sons New York, New York, 2011.

MONTGOMERY, D.; RUNGER G. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4ª ed. São Paulo: LTC, 2009.

MONTGOMERY, D. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4ª ed. São Paulo: LTC, 2004.

MORETTIN, P.; BUSSAB, W. **Estatística Básica**. 7ª ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

MRS LOGÍSTICA S.A.. **Apresentação Institucional – 2014.** Disponível em: < https://www.mrs.com.br/interna.php?nomPagina=aempresa/apres_institucional.php&IdSecao=0>. Acesso em 08 jul. 2014

MRS LOGÍSTICA S.A.. **Relatório Anual – 2011.** Disponível em: <http://www.mrs.com.br/download/cvm/Apresentacao_MRS_Negocio_nos_Trilhos.pdf>. Acesso em 02 fev. 2014

MRS LOGÍSTICA S.A.. **Relatório Anual – 2012.** Disponível em: <http://www.mrs.com.br/download/Relatorio_Anual_MRS_2012_21mar2013.pdf>. Acesso em 02 fev. 2014.

MRS LOGÍSTICA S.A.. **Relatório Anual – 2013.** Disponível em: <http://www.mrs.com.br/download/Relatorio_Anual_MRS_2012_21mar2013.pdf>. Acesso em 12 jul. 2014.

MRS LOGÍSTICA S.A. **Apresentação Institucional. 2013**. Disponível em: <http://www.mrs.com.br/interna.php?nomPagina=aempresa/apres_institucional.php&IdSecao=0>. Acessado em 06 de mar. 2013.

NAVIDI, W. **Probabilidade e estatística para ciências exatas** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: AMGH, 2012.

PEREIRA, O., C. **Soluções de otimização da eficiência energética de uma ferrovia de carga: o caso da Estrada de Ferro Carajás – EFC**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

REIFF, R. **Best practices update for Friction Control including implementing Top-of-rail friction control**. Estados Unidos, 2006.

REIS, E.; MELO, P.; ANDRADE, R.; CALAPEZ, T. **Estatística aplicada**. 4ª ed. Lisboa: Sílabo, 2008.

RONEY, M. **Guidelines to best practices for heavy haul railway operations**. International Heavy Haul Association, 2009. Austrália..

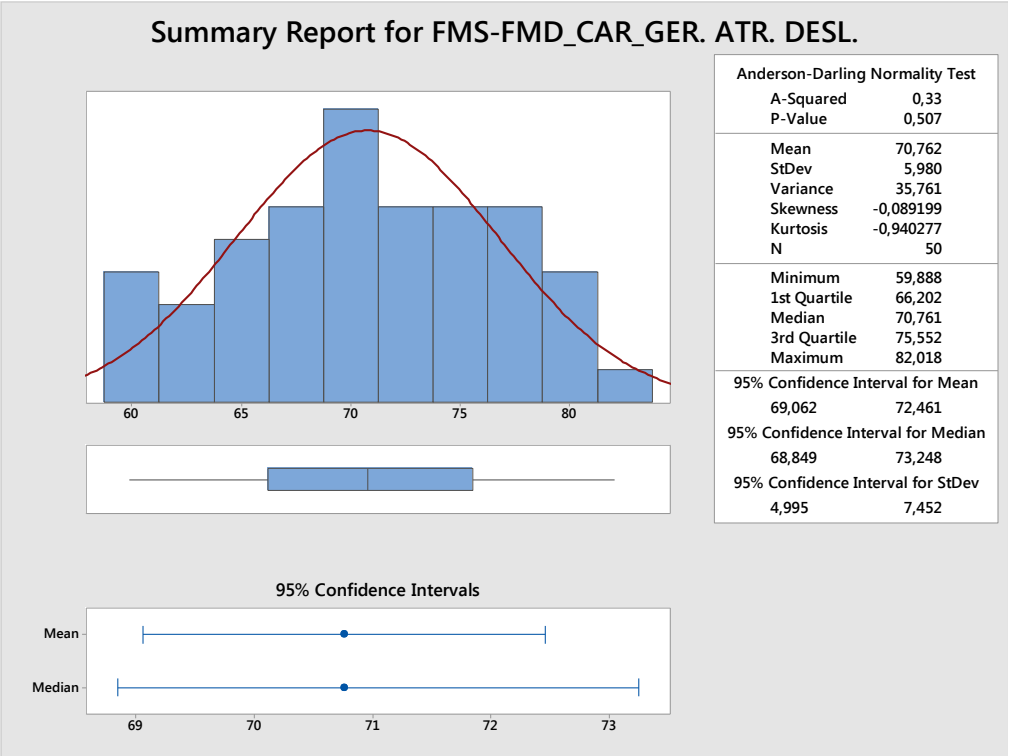
SROBA, P. *et al*. **Canadian Pacific Railway's 100% Effective Lubrication Initiative**. Chicago, 2001. Disponível em: <http://www.arema.org/files/library/2001_Conference_Proceedings/00009.pdf>. Acesso em 10 jan. 2014.

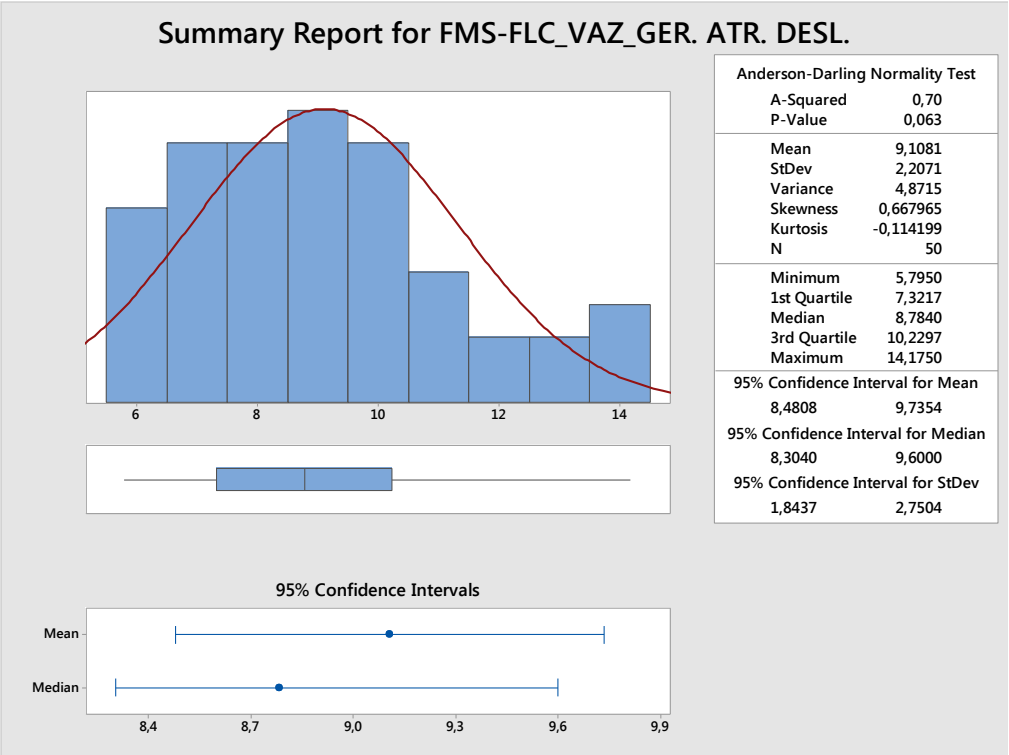
VANDERMAREL, J., *et al*. **A predictive modelo of energy savings from top of rail friction control**, Wear (2013). Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2013.11.037>. Acesso em 15 jan. 2014.

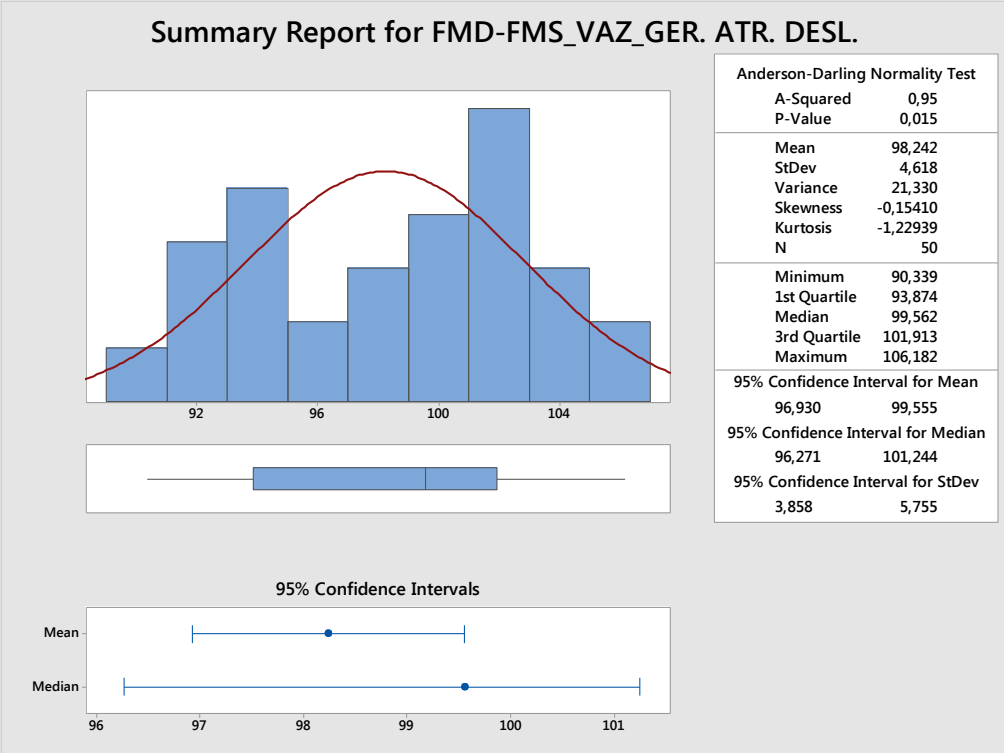
WERKEMA, M. C. C. **Como estabelecer conclusões com confiança: entendendo a inferência estatística**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Otoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

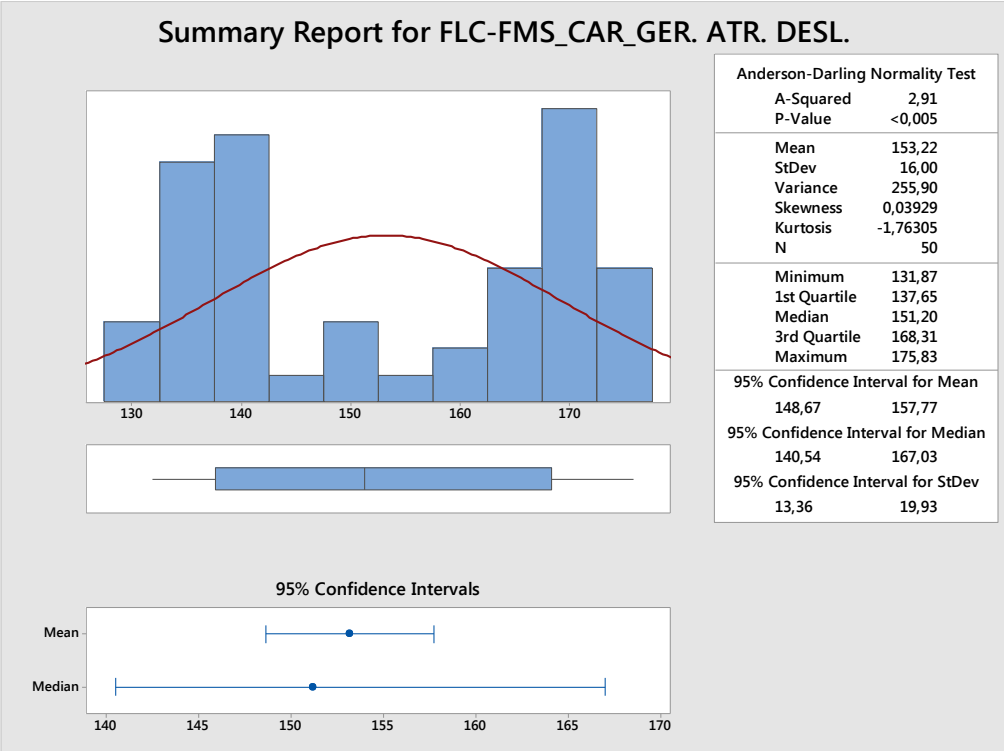
WERKEMA, M. C. C.; DRUMOND, F. B.; AGUIAR, S **Análise de Variância: Comparação de várias situações**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Otoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

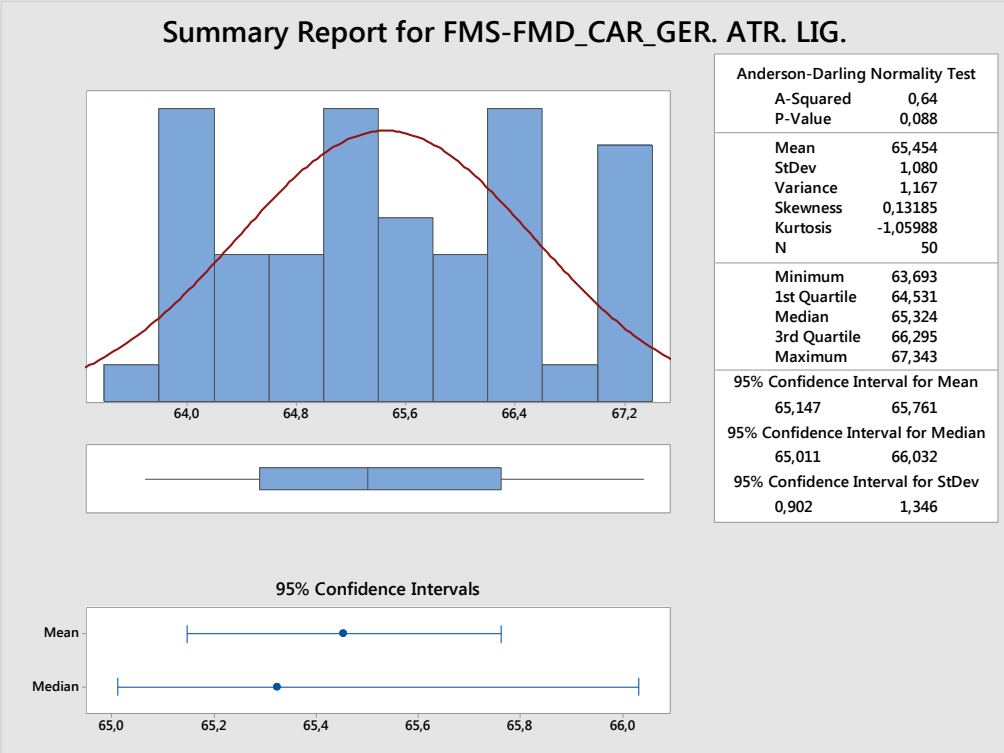
ANEXO I – RESUMO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE CONSUMO

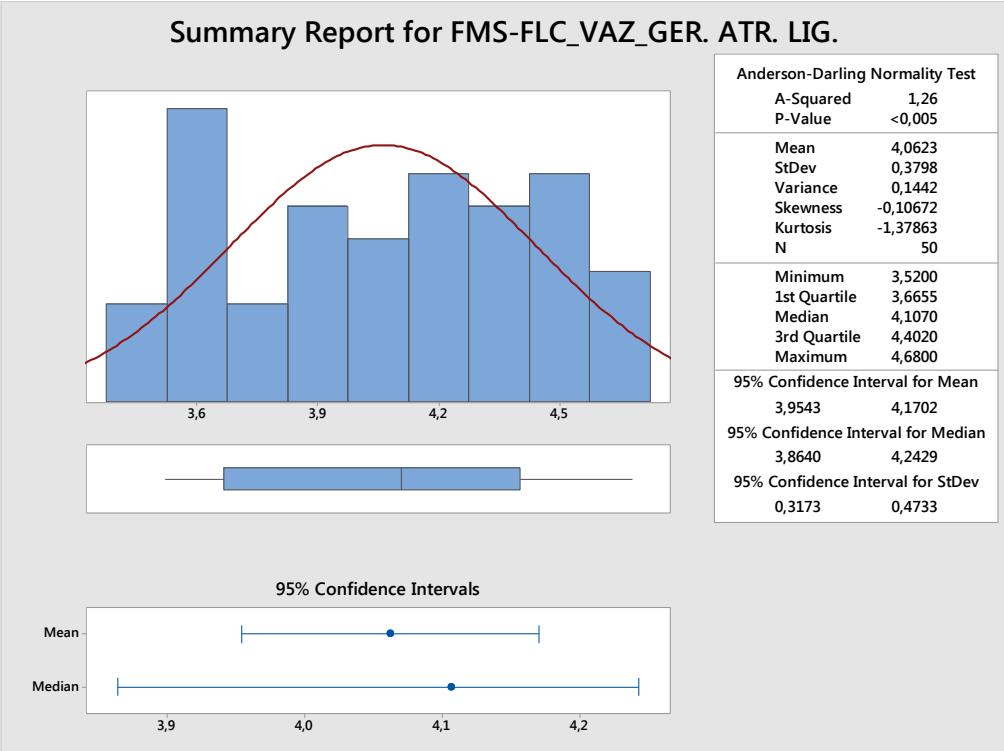


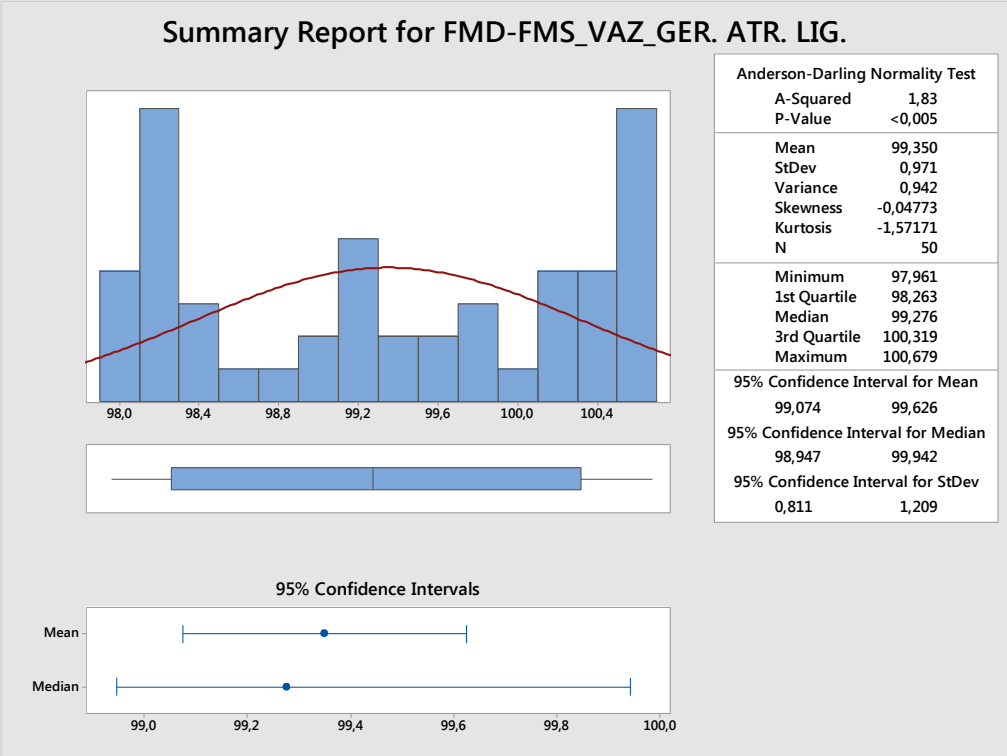


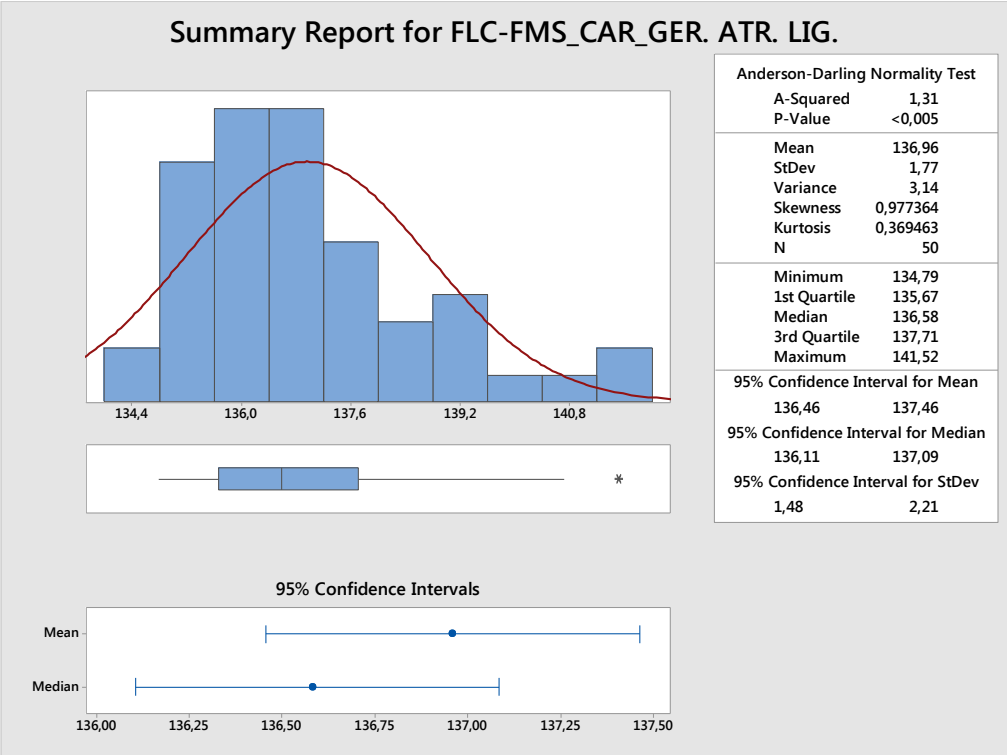

Summary Report for FMD-FMS_VAZ_GER. ATR. DESL.
Anderson-Darling Normality Test
A-Squared 0,95
P-Value 0,015
Mean 98,242
StDev 4,618
Variance 21,330
Skewness -0,15410
Kurtosis -1,22939
N 50
Minimum 90,339
1st Quartile 93,874
Median 99,562
3rd Quartile 101,913
Maximum 106,182
95% Confidence Interval for Mean
96,930 99,555
95% Confidence Interval for Median
96,271 101,244
95% Confidence Interval for StDev
3,858 5,755
92
96
100
104
95% Confidence Intervals
Mean
Median
96
97
98
99
100
101


Summary Report for FLC-FMS_CAR_GER. ATR. DESL.
Anderson-Darling Normality Test
A-Squared 2,91
P-Value <0,005
Mean 153,22
StDev 16,00
Variance 255,90
Skewness 0,03929
Kurtosis -1,76305
N 50
Minimum 131,87
1st Quartile 137,65
Median 151,20
3rd Quartile 168,31
Maximum 175,83
95% Confidence Interval for Mean
148,67 157,77
95% Confidence Interval for Median
140,54 167,03
95% Confidence Interval for StDev
13,36 19,93
130
140
150
160
170
95% Confidence Intervals
Mean
Median
140
145
150
155
160
165
170

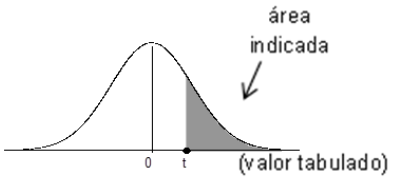

Summary Report for FMS-FMD_CAR_GER. ATR. LIG.
Anderson-Darling Normality Test
A-Squared 0,64
P-Value 0,088
Mean 65,454
StDev 1,080
Variance 1,167
Skewness 0,13185
Kurtosis -1,05988
N 50
Minimum 63,693
1st Quartile 64,531
Median 65,324
3rd Quartile 66,295
Maximum 67,343
95% Confidence Interval for Mean
65,147 65,761
95% Confidence Interval for Median
65,011 66,032
95% Confidence Interval for StDev
0,902 1,346
64,0
64,8
65,6
66,4
67,2
95% Confidence Intervals
Mean
Median
65,0
65,2
65,4
65,6
65,8
66,0


Summary Report for FMS-FLC_VAZ_GER. ATR. LIG.
Anderson-Darling Normality Test
A-Squared 1,26
P-Value <0,005
Mean 4,0623
StDev 0,3798
Variance 0,1442
Skewness -0,10672
Kurtosis -1,37863
N 50
Minimum 3,5200
1st Quartile 3,6655
Median 4,1070
3rd Quartile 4,4020
Maximum 4,6800
95% Confidence Interval for Mean
3,9543 4,1702
95% Confidence Interval for Median
3,8640 4,2429
95% Confidence Interval for StDev
0,3173 0,4733
3,6
3,9
4,2
4,5
95% Confidence Intervals
Mean
Median
3,9
4,0
4,1
4,2


Summary Report for FMD-FMS_VAZ_GER. ATR. LIG.
Anderson-Darling Normality Test
A-Squared 1,83
P-Value <0,005
Mean 99,350
StDev 0,971
Variance 0,942
Skewness -0,04773
Kurtosis -1,57171
N 50
Minimum 97,961
1st Quartile 98,263
Median 99,276
3rd Quartile 100,319
Maximum 100,679
95% Confidence Interval for Mean
99,074 99,626
95% Confidence Interval for Median
98,947 99,942
95% Confidence Interval for StDev
0,811 1,209
98,0
98,4
98,8
99,2
99,6
100,0
100,4
95% Confidence Intervals
Mean
Median
99,0
99,2
99,4
99,6
99,8
100,0


Summary Report for FLC-FMS_CAR_GER. ATR. LIG.
Anderson-Darling Normality Test
A-Squared 1,31
P-Value <0,005
Mean 136,96
StDev 1,77
Variance 3,14
Skewness 0,977364
Kurtosis 0,369463
N 50
Minimum 134,79
1st Quartile 135,67
Median 136,58
3rd Quartile 137,71
Maximum 141,52
95% Confidence Interval for Mean
136,46 137,46
95% Confidence Interval for Median
136,11 137,09
95% Confidence Interval for StDev
1,48 2,21
134,4
136,0
137,6
139,2
140,8
*
95% Confidence Intervals
Mean
Median
136,00
136,25
136,50
136,75
137,00
137,25
137,50

ANEXO II – DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT



gl	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	1	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,886	2,92	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,6
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,61
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,894	6,869
6	0,718	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	3,69	4,297	4,781
10	0,7	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,93	4,318
13	0,694	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,14
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,69	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,61	3,922
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,85
21	0,686	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807	3,104	3,485	3,768
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787	3,078	3,45	3,725
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,689
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,66
30	0,683	1,31	1,697	2,042	2,457	2,75	3,03	3,385	3,646
35	0,682	1,306	1,69	2,03	2,438	2,724	2,996	3,34	3,591
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
45	0,68	1,301	1,679	2,014	2,412	2,69	2,952	3,281	3,52
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
z	**0,674**	**1,282**	**1,645**	**1,96**	**2,326**	**2,576**	**2,807**	**3,09**	3,291

ANEXO III – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20____.

_____	_____
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
_____	_____
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

ANEXO IV – DECLARAÇÃO DA EMPRESA

Declaro para os devidos fins, que **Quinhones Furtunato de Souza Dutra** funcionário da empresa MRS Logística SA possui autorização para divulgar o nome da empresa, bem como dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Juiz de Fora, 23 de julho de 2014.

_____

Responsável da Empresa

(carimbo da empresa)