

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUIZ CARLOS MENDES DA LUZ JÚNIOR

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TAGUCHI PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE UM VIRADOR DE VAGÕES – VALE/SA**

São Luís – MA
2016

LUIZ CARLOS MENDES DA LUZ JÚNIOR

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TAGUCHI PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE UM VIRADOR DE VAGÕES – VALE/SA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof.^o Me. Flávio Nunes Pereira.

Luz Junior, Luiz Carlos Mendes da
Aplicação da metodologia de Taguchi para análise de desempenho de um virador de vagões- Vale/SA / Luiz Carlos Mendes da Luz Junior – São Luís, 2016.

57

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Me. Flavio Nunes Pereira

1. Virador de vagões.2.Taguchi.3. Grampos.4. Análise de eficiência. I. Título.

CDU:658.56:621.332.31(812.1)

LUIZ CARLOS MENDES DA LUZ JÚNIOR

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TAGUCHI PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE UM VIRADOR DE VAGÕES – VALE/SA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ___/ ___/ 2016

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Me. Flávio Nunes Pereira (Orientador)

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – UEMA

Prof.º Me. José de Ribamar F. Barros Junior

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – UEMA

Prof.º Dr. Vilson Souza Pereira

Universidade Federal do Maranhão – UFMA

À Deus todo poderoso e a família pelo incentivo e compreensão pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus por nos dar o dom da vida, por nos ter concedido, através de sua bondade infinita, o potencial de concretizar mais uma conquista em nossa vida.

A minha família por ter dado a educação e visão necessária para que esse objetivo pudesse ser alcançado. Agradeço também aos meus entes queridos que não se encontram mais aqui entre nós, mas sempre confiaram que nossos passos, dados corretamente, nos levariam longe.

A minha namorada e sua família que na reta final da graduação entraram na minha vida e renovaram o folego para essa tão sonhada formação.

Aos meus colegas de turma que construíram, sem sombra de dúvidas, uma das melhores turmas do curso de Engenharia Mecânica da UEMA. Agradecimento em especial para a turma 2011.2.

Ao professor Me. Flávio Nunes Pereira por orientações para a realização deste trabalho, mostrando o melhor caminho, analisando os resultados e construindo um raciocínio coerente.

“Pensar é fácil, agir é difícil, mas a vida só pertence aos que sabem unir o pensamento à ação.”

Viana Moog

RESUMO

Aplicação de metodologias de qualidade em projetos de grande porte deve ser cada vez mais presente nos equipamentos em operação, pois elas auxiliam a entender alguns pontos específicos que apenas durante a montagem não são informados. A metodologia de Taguchi é uma delas. A mesma será utilizada para analisar a operação de um equipamento de grande porte que é o Virador de Vagões. E como em todo equipamento, existem pontos que podem ser melhorados, seja por custo/benefício, eficiência ou produção. Durante o processo de descarga de minério, uma parte do mesmo fica retida na cabeça dos grampos de fixação do Virador formando uma coluna de material, e esse é o ponto escolhido para se aplicar a metodologia de Taguchi, que requer uma variação de alguns parâmetros do próprio equipamento como: formato do grampo, angulação de giro e juntamente com o tipo de vagão, para se chegar ao ponto de menor perda e/ou de maior eficiência. Neste estudo será possível quantificar tal perda através de cálculos de volume e área para que se possa mostrar, com fundamentos teóricos, valores concretos em tal aplicação. Além disso, essa análise pode ficar como ponto de partida para processos de melhorias futuras para que a perda de material na descarga do Virador de Vagões seja menor.

Palavras-chave: Virador de Vagões. Taguchi. Grampos. Análise de eficiência.

ABSTRACT

Application of quality methodologies in large projects should be increasingly present in the equipment in operation, as they help to understand some specific points that only during assembly are not informed. Taguchi's methodology is one of them. The same will be used to analyze the operation of a large equipment that is the Wagon Turner. And as with all equipment, there are points that can be improved, either cost-benefit, efficiency or other point. During the process of ore discharge, a part of it is retained in the head of the fixing clips of the Turner forming a column of material, and this is the chosen point to apply the methodology of Taguchi, that requires a variation of some parameters of the Equipment such as: clamp shape, turning angle and along with the type of wagon, to reach the point of least loss and / or greater efficiency. In this study it will be possible to quantify such loss through volume and area calculations so that concrete values can be shown on theoretical grounds. In addition, this analysis can serve as a starting point for future improvement processes so that the loss of material in the Wagon Turner discharge is lower.

Key Words: Car Dumper. Taguchi. Clamps. Analysis of efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Design Helicóptero de Papel.....	22
Figura 2	- Virador de Vagões esquemático	25
Figura 3	- Trava de Rodas.....	26
Figura 4	- Carro Posicionador ou Posicionador de Vagões.....	27
Figura 5	- Alimentador de Sapatas.....	27
Figura 6	- Transportador de Correia do Sistema Virador de Vagões.....	28
Figura 7	- Moega inferior e AL's (Metso).....	29
Figura 8	- Anel de entrada do Barril.....	30
Figura 9	- Vista Geral do Barril e dos grampos de fixação vertical.....	30
Figura10	- Dispositivos de fixação.....	31
Figura11	- <i>Sinter feed</i>	34
Figura12	- <i>Pellet feed</i>	34
Figura13	- Mina de Carajás.....	35
Figura14	- Pátio de estocagem de minério.....	36
Figura15	- Coluna de minério localizada no retorno do giro.....	37
Figura16	- Vagão Gôndola GDU.....	39
Figura17	- Vagão Gôndola GDT.....	39
Figura18	- Grampo de fixação vertical sem flap.....	40
Figura19	- Grampo de fixação vertical com flap.....	40
Figura20	- Barril do Virador de Vagões.....	41
Figura21	- Vibrador.....	42
Figura22	- Grampo de fixação.....	44
Gráfico 1	- Tipo de Vagão.....	49
Gráfico 2	- Design do grampo.....	50
Gráfico 3	- Giro do Barril.....	51

Gráfico 4 - Tipo de Minério	52
Gráfico 5 - Atuação do Vibrador.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e pontos de variação	43
Tabela 2 - Ordenação dos parâmetros para os testes	46
Tabela 3 - Testes e Sinal/Ruído	47
Tabela 4 - Média dos Testes e Sinal/Ruído	48

LISTA DE SIGLAS

VV	Virador de Vagões
AL	Alimentador de Sapatas
TR	Transportador de Correias
PV	Posicionador de Vagões ou Carro Posicionador
QFD	Quality Function Deployment
Kg	Quilograma
m ³	Metros cúbicos
cm ²	Centímetros quadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
HHT	Homem Hora Trabalhado
GDU	Vagão tipo gôndola de maior capacidade
GDT	Vagão tipo gôndola de dimensões menores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.2	Objetivo Geral	16
1.3	Objetivos Específicos	16
2	PROJETO ROBUSTO	18
2.1	Genichi Taguchi	18
2.2	Função Perda	19
2.3	Metodologia de Taguchi	21
2.3.1	Definição	22
2.3.2	Conceitos teóricos	22
2.3.3	Etapas básicas para a Aplicação da Metodologia de Taguchi	23
3	VIRADOR DE VAGÕES	25
3.1	Principais componentes	25
3.1.1	Trava de Rodas	26
3.1.2	Carro Posicionador ou Posicionador de Vagões (PV)	26
3.1.3	Alimentador de Sapatas (AL)	27
3.1.4	Transportador de Correias (TR)	28
3.1.5	Moegas de Descarga	28
3.1.6	Virador de Vagões (Barril)	29
3.2	Dispositivos de fixação dos vagões	30
4	MINÉRIO DE FERRO	33
4.1	Tipos de minério de ferro	33
4.1.1	Granulado ou <i>lump</i>	33
4.1.2	<i>Sinter feed</i>	33
4.1.3	<i>Pelle feed</i>	34

4.2	Umidade do minério de ferro	35
5	APLICAÇÃO DE TAGUCHI NO VIRADOR DE VAGÕES	37
5.1	Coleta de dados	37
5.2	Parâmetros escolhidos	38
5.2.1	Tipo de vagão.....	38
5.2.2	Design do Grampo	40
5.2.3	Giro do Barril	41
5.2.4	Tipo de minério.....	41
5.2.5	Atuação do Vibrador.....	42
5.3	Tabela de parâmetros	43
5.4	Ponto de aplicação	43
5.5	Variação dos parâmetros	46
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6.1	Análise por parâmetro	48
6.1.1	Parâmetro 1: Tipo de Vagão	49
6.1.2	Parâmetro 2: Design do grampo.....	49
6.1.3	Parâmetro 3: Giro do Barril.....	50
6.1.4	Parâmetro 4: Tipo de minério	51
6.1.5	Parâmetro 5: Atuação do vibrador.....	52
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Na constante busca pela satisfação, resultados eficientes e conseqüentemente entrar no ramo da qualidade que envolve a melhoria contínua, os projetos de engenharia, por mais detalhados que sejam, ainda possuem pontos que podem ser aprimorados, e dentro dessa janela, surge a oportunidade de se utilizar de uma metodologia de um dos grandes mestres da Qualidade, Genichi Taguchi.

Apesar de viver na década de 50, o seu legado ainda serve, de maneira muito eficiente para analisarmos diversas situações para assim determinar o ponto onde poderá ser aprimorado ou onde o produto/equipamento produzido é mais eficiente. Para isso, sua metodologia necessita de uma quantidade “X” de parâmetros para se utilizar. Taguchi apresenta, inicialmente, três maneiras nas quais podemos trabalhar na aplicação de sua ferramenta, são elas: L4, L8 e L16. A metodologia Taguchi dá, também, a possibilidade de se trabalhar com a quantidade de parâmetros encontrados, não se restringindo apenas com os citados anteriormente, desde que haja a possibilidade de variação entre eles.

Para a aplicação desejada, envolvemos um Virador de Vagões (equipamento utilizado na descarga de minério) que apresenta alguns pontos para posterior melhoria e não possui um estudo de ponto ótimo ou projeto robusto com a aplicação da metodologia de Taguchi, para determinar o seu ponto/operação de maior eficiência.

Alguns dos parâmetros que serão utilizados foram determinados em projeto, porém não possuem tal análise de rendimento. Sendo assim, como a metodologia de Taguchi requer parâmetros será utilizado o tipo de vagão, angulação do giro do barril, posição de grampo, tipo de minério, dimensões do grampo, entre outros.

A necessidade de se buscar por pontos “defeituosos” ou ineficientes para que se possa melhorar, é constante. E, fundamentado nessa metodologia, ao analisar os testes pós-montagem de um Virador de Vagões, se pode perceber que durante o processo de descarga de minério uma parte dele fica retida na base dos grampos de fixação vertical (prendem os vagões para que se possa realizar o giro do barril). Esse equipamento possui oito desses grampos, porém somente quatro entram em contato direto com o minério, pois o giro de descarga acontece somente

para o lado da viga de descarga, portanto o projeto desses é mais robusto e mais resistente que os outros.

Com utilização dessa conhecida e eficiente metodologia, será possível também analisar o ponto de vista de longo prazo. Tendo como base que cada operação desse equipamento, ele descarrega 110 vagões, e em 24 horas podendo a chegar a aproximadamente 10 lotes. Poderá também ir além, em um ano, quanto de minério foi perdido, além de poder influenciar direto na relação homem-hora para limpeza posterior descarga desses lotes em questão.

Dessa forma essa análise será um ponto de partida para melhorias pontuais, tendo como base um material consistente, com embasamento teórico visando aprimorar tão operação de descarga, além de difundir o conhecimento e a utilização dessa metodologia para diversas áreas deste grande leque que a Engenharia nos proporciona.

1.1 OBJETIVOS

1.2 Objetivo Geral

Analisar e determinar, utilizando a Metodologia de Taguchi, o ponto de maior eficiência do Virador de Vagões em questão, abrangendo seu conteúdo e funcionamento, em geral a importância dessa ferramenta de qualidade para discussões de projeto como um todo.

1.3 Objetivos Específicos

- a) Adquirir profundo conhecimento na aplicação dessa metodologia de projeto Taguchi;
- b) Analisar ponto a ponto a importância de cada parâmetro para otimização do produto trabalhado;
- c) Apresentar o Virador de Vagões de modo claro além de explicar seu funcionamento;

- d) Mostrar a importância de cada parâmetro escolhido e explicar a influência deles no resultado;
- e) Expor resultados consistentes embasados nos testes do equipamento e análise com profissionais diretamente ligados com projetos;

2 PROJETO ROBUSTO

2.1 Genichi Taguchi

Nascido em Tokamachi no Japão (1 de janeiro de 1924 - 2 de junho de 2012). Foi um engenheiro e estatístico. Da década de 1950 em diante, desenvolveu uma metodologia que utilizava a aplicação de métodos estatísticos objetivando melhorar a qualidade dos produtos manufaturados. Esses métodos geraram controvérsias entre alguns estudiosos mais convencionais, porém a inovação de Taguchi trouxe conceitos e extensões que representam o escopo deste conhecimento (MELO, 2012).

Taguchi iniciou seus estudos - essencialmente em engenharia têxtil - na cidade de Tokamachi, no intuito de entrar para o ramo de criação e desenvolvimento de quimonos da família. No entanto, com a eclosão da II Guerra Mundial, em 1942, ele foi convocado a participar no Departamento Astronômico do Instituto de Navegação da Marinha Imperial Japonesa, ele também foi contador do Banco Nacional do Japão, e foi medalhista olímpico em 1967.

Após a guerra, em 1948, ele adentrou ao Ministério da Saúde Pública e Bem-Estar, no qual foi inserido sob a influência do notável estatístico Matosaburo Masuyama que acendeu o interesse de Taguchi por sua área de atuação. Graças a isso, posteriormente ele trabalhou no Instituto de Matemática Estatística.

Em 1950, ele aderiu à Electrical Communications Laboratory (ECL), da Nippon Telegraph and Telephone Corporation apenas no controle de qualidade estatística. Taguchi começava a tornar-se popular no Japão sob a influência de W. Edwards Deming e da União Japonesa de Cientistas e Engenheiros. Taguchi passou doze anos no desenvolvimento de métodos para o aumento na qualidade. Nesta altura, ele estava começando a dar consultoria a toda indústria japonesa, sendo inclusive o sistema Toyota influenciado por suas ideias.

Durante a década de 1950, ele colaborou amplamente para estudos da qualidade e, em 1954-1955 foi professor no Indian Statistical Institute, onde trabalhou com R. A. Fisher e Walter A. Shewhart. Ao completar o seu doutorado na Universidade de Kyushu em 1962, ele deixou ECL. Em 1964 ele se tornou professor de engenharia na Universidade Aoyama Gakuin, em Tóquio. No ano de 1966 ele iniciou um trabalho com Yuin Wu, que mais tarde imigrou para os Estados Unidos e,

em 1980 convidou Taguchi para palestrar. Durante a visita dele lá, Taguchi financiou seu retorno a Bell Labs onde seu ensino inicial teve um pequeno e duradouro impacto. Nesta segunda visita começou uma colaboração com Madhav Phadke e um crescente entusiasmo com sua metodologia na Bell Labs e em outro lugar, incluindo a Ford Motor Company.

De 1982 em diante, Genichi Taguchi, foi assessor da Japanese Standards Institute e diretor executivo do American Supplier Institute, uma organização internacional de consultoria. Seu filho, Shin Taguchi, é apontado como o seu sucessor na liderança do instituto.

Em 1990 recebeu do imperador japonês a Blue Ribbon Award pela sua contribuição para o desenvolvimento da indústria japonesa. Taguchi, que foi o criador do movimento Robust Design, ganhou quatro vezes o Prêmio Deming, do Japão. Ele recebeu o primeiro destes prêmios de excelência pela sua contribuição para o desenvolvimento da estatística aplicada à qualidade. Taguchi é conhecido mundialmente através de vários autores como um dos "Gurus ou Notáveis da qualidade" (GURUS..., 2009, p. 4).

2.2 Função Perda

O QFD (quality function deployment ou desdobramento da função qualidade) nasceu como uma evolução natural dos sistemas de qualidade no Japão, na medida em que seus especialistas procuravam desdobrar as características de qualidade de um produto por entre as funções que contribuíam para a qualidade da empresa, com o objetivo de garantir a qualidade do produto já na fase de projeto. Genichi Taguchi, recentemente popularizou o conceito da função perda, focalizando o impacto da variação da qualidade. Ele tem retratado a idéia de que a variação do alvo desejado acarreta perdas para a sociedade.

Taguchi aponta que, mesmo o produto estando dentro dos limites de especificação, há um custo definido para a sociedade se a característica não está exatamente no valor nominal; quanto mais longe do nominal, maior o custo.

De acordo com Melo (2012, p. 2), "A qualidade de um produto não pode ser aperfeiçoada a menos que suas características possam ser identificadas e

medidas”. Dentro deste contexto, a variabilidade é uma característica importante de controle para o bom desempenho do produto.

A filosofia de Taguchi é relativa a todo o ciclo de produção desde o design até à transformação em produto acabado. Ele define a qualidade em termos das perdas geradas por esse produto para a sociedade. Essas perdas podem ser estimadas em função do tempo que compreende a fase de expedição de um produto até ao final da sua vida útil. São medidas em dólares de forma a permitir que os engenheiros comuniquem com os não especialistas através de uma linguagem comum.

Para Genichi Taguchi (2011) a chave para reduzir as perdas não está na conformidade com as especificações, mas na redução da variância estatística em relação aos objetivos fixados. Uma empresa considera ter poupado cerca de 60 milhões de dólares, em apenas 18 meses, com a metodologia de Taguchi. Na sua opinião, a qualidade e o custo de um produto são determinados em grande medida pelo seu design e pelo seu processo de fabricação.

O propósito geral do sistema total da qualidade é produzir um produto que seja robusto em relação a todos os fatores perturbadores. Robustez indica que características funcionais do produto não são sensíveis às variações sofridas por esses mesmos fatores. Com o objetivo de alcançar essa robustez, esforços de controle da qualidade devem começar na fase de projeto do produto e continuar durante as fases de engenharia da produção e fabricação.

O controle da qualidade na linha de produção se refere às atividades diárias para se controlar condições do processo, observando-se tanto características da qualidade de produtos como parâmetros de processos. Sabe-se que todos os processos estão sujeitos a deriva se controles não forem postos em prática. Portanto, o objetivo do controle da qualidade na linha de produção é fabricar produtos uniformes ajustando processos de acordo com informação obtida a respeito de processos e/ou de produtos fabricados. Baseada nesta informação, a produção deve ser planejada para minimizar a perda da qualidade ou o custo. Sem se controlar o processo, não é possível controlar a qualidade de um produto (TAGUCHI, 2011).

2.3 Metodologia de Taguchi

O método Taguchi/Projeto Robusto pode ser entendido como uma nova abordagem da qualidade voltada para projeto do produto e do processo. É também conhecida como Controle de Qualidade *off-line*.

Segundo Taguchi (2011), a qualidade é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor esperado da mesma. Os fatores chamados “ruído” (temperatura, umidade, poeira, deteriorização, etc.) causam tais desvios e resultam na perda de qualidade do produto. Este “prejuízo” pode ser avaliado através de uma “função perda”.

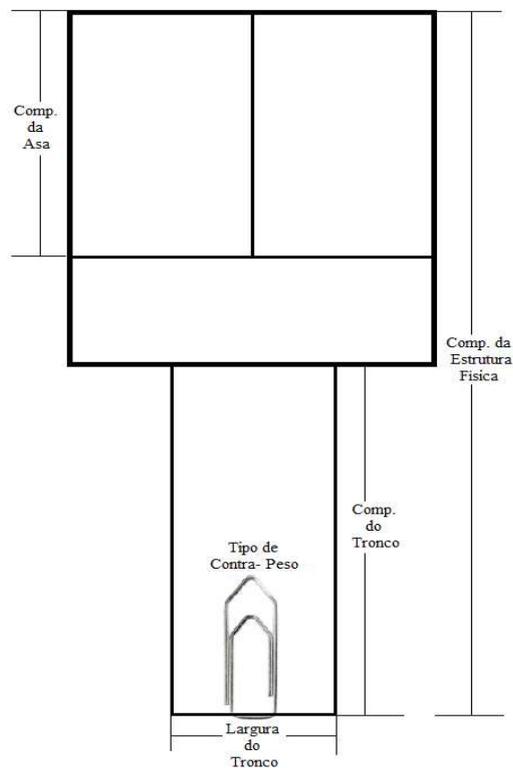
A proposta do método Taguchi é a de determinar a função perda do produto e otimizar-la empregando técnicas estatísticas. Com estas análises pode-se identificar os parâmetros ótimos de projeto que minimizam ou até mesmo eliminam as influências dos fatores ruído no desempenho do produto.

Ao invés de isolar o produto dos fatores que geram ruído, que pode ser de difícil execução, dependendo da aplicação. Com a metodologia de Taguchi, se encontra um valor que garante o desempenho ou minimizam as perdas do seu produto perante as situações em que ele se encontra naturalmente. Por exemplo, Clausing (1994) apresenta um exemplo de projeto de um sistema de alimentação de copiadoras onde, de maneira convencional, uma equipe se concentrava em desenvolver complexos mecanismos para orientar a página antes da alimentação. Outra equipe, através do método Taguchi, direcionou estes esforços no sentido de desenvolver um mecanismo de alimentação com pequena influência da orientação da página inicial. Outro exemplo bem conhecido é o Helicóptero de Taguchi, onde é construído um protótipo de helicóptero de papel, onde ele apresenta alguns parâmetros já definidos de projeto, se encaixando assim perfeitamente na Metodologia de Projeto Robusto, onde podem ser facilmente variados, como visto na imagem a Figura 1. Nesse segundo exemplo, o projeto tem como função permanecer o maior tempo possível no ar, analisando assim o tempo de queda de cada protótipo. Como se utiliza de análise estatística para chegar a um resultado consistente, existe uma fórmula para se trabalhar em cima dessas situações. A utilizada para o experimento do helicóptero de papel foi a:

$$SN_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y^2 i} \right)$$

Dessa forma, é possível analisar os parâmetros no experimento que tem a seguinte composição:

Figura 1 - Design Helicóptero de Papel



Fonte: Rabelo, et al, (2014).

2.3.1 Definição

Metodo Taguchi é uma abordagem da engenharia de qualidade “off-line” que busca aumentar a robustez dos projetos/produtos por meio da diminuição dos efeitos dos parâmetros “ruído” no seu desempenho (ROSS, 1991).

2.3.2 Conceitos teóricos

- Fontes de ruído: são fatores de perturbação que causam a variabilidade da função do produto. Eles podem ser classificados em três tipos?

1. Fatores externos – decorrem das condições de utilização do produto e do ambiente em que o produto é utilizado;
 2. Ruídos Internos ou Degenerativos – estão ligados às características próprias do produto, do processo ou serviço que o produto sofre antes de chegar ao mercado, e procuram estabelecer níveis ou dos fatores que têm influência no valor estabelecido para a resposta do sistema, com baixa variação em torno desse valor;
 3. Variações na produção – corresponde na variabilidade entre unidades do produto manufaturados sob as mesmas condições.
- b) Qualidade Robusta: garante a qualidade consistente do produto, buscando tornar o desempenho do mesmo o menos sensível a todos os tipos de ruídos.
- c) Controle de qualidade off-line: são os esforços aplicados à qualidade do projeto, o que inclui qualquer atividade de projeto e desenvolvimento que ocorre antes da fabricação do produto.
- d) Controle de qualidade on-line: é exercido durante a produção ou manufatura do produto.

2.3.3 Etapas básicas para a Aplicação da Metodologia de Taguchi

1. Identificação dos fatores: onde se identifica os parâmetros ou fatores relevantes que serão avaliados e variados para possível interação entre si. Também pode-se identificar o parâmetro de maior relevância no seu produto.
2. Planejamento e Condução dos experimentos: Realiza-se a coleta dos dados experimentais, permitindo a construção da função perda e da relação sinal/ruído.
3. Predição dos Níveis Ótimos dos Parâmetros: é realizada uma otimização dos parâmetros levando-se em consideração a relação sinal/ruído. Essa análise significa obter um modelo estatístico desta relação com os dados coletados durante o experimento e aplicar técnicas de otimização para encontrar os valores dos parâmetros ótimo dos produtos.

4. Validação dos Resultados; etapa onde é feita a verificação dos resultados obtidos a partir da análise da variação dos seus parâmetros, juntamente com a relação sinal/ruído.

3 VIRADOR DE VAGÕES

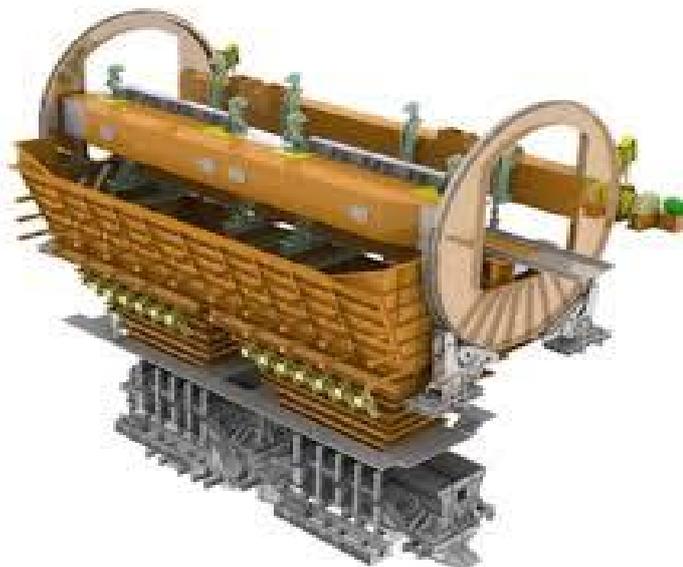
O sistema de virador de vagões é projetado especificamente para trabalhar continuamente sob pesadas condições de trabalho e é adequado para a operação num ambiente de atmosfera salina carregada de poeira e umidade.

A descarga é efetuada com os vagões acoplados, sendo que dois deles são descarregados simultaneamente em um ciclo de operação de descarga que se inicia com o posicionamento dos vagões para descarga e finaliza com a descarga completa destes.

3.1 Principais componentes

O virador de vagões, Figura 2, não é somente composto apenas pelo Barril (onde se posicionam os dois vagões para descarga), também apresenta um conjunto de Trava de Rodas, Carro Posicionador, Alimentador de Sapatas, Transportadores e a Moegas de Descarga. O conjunto Virador de Vagões, pode ser visto na Figura 2 a seguir, com exceção do Posicionador de Vagões e dos Travas de Rodas que são componentes externos ao Virador de Vagões em si, porém de suma importância para que todo o processo de operação ocorra com sua devida segurança e eficiência.

Figura 2 - Virador de Vagões esquemático



3.1.1 Trava de Rodas

O virador de vagões é equipado com um total de quatro travas de rodas, hidráulicas, com duas delas localizadas na frente da entrada do virador de vagões (travas de rodas 1 e 2) e duas na saída do virador (travas de rodas 3 e 4). O propósito dessas travas de rodas, Figura 3, é evitar o movimento da composição durante a operação de descarga, enquanto o virador estiver girando. São acionados por uma unidade hidráulica de grande porte localizadas dentro de uma sala, tal unidade também aciona os grampos de fixação vertical.

Figura 3 - Trava de Rodas



Fonte: Próprio do Autor.

3.1.2 Carro Posicionador ou Posicionador de Vagões (PV)

Posicionar os vagões dentro do virador, posicionando-se sempre entre o terceiro e quarto vagões na fila de espera para descarga, como visto na Figura 4. Ele é acionado por um guincho de cabo de aço, equipado com um motor trifásico controlado por inversor de frequência.

Figura 4 - Carro Posicionador ou Posicionador de Vagões



Fonte: Próprio do Autor.

3.1.3 Alimentador de Sapatas (AL)

Tem como função transportar o minério de ferro que está sendo descarregado pelo virador de vagões, mostrado na Figura 5. É projetado de maneira para suportar um impacto de dois vagões carregados onde cada um apresenta entre 90 e 120 mil quilos de minério, para posteriormente direcionar essa carga para o Transportador de Correias.

Figura 5 - Alimentador de Sapatas



Fonte: Próprio do Autor.

3.1.4 Transportador de Correias (TR)

Tem como função transportar o material que está sendo descarregado pelos AL's até outros TR's, Figura 6, que tenham como destino os pátios de estocagem desse material. Uma característica dos transportadores do Virador de Vagões é de ser móvel e reversível, ou seja, existe um sistema de translação e o acionamento permite a correia se movimentar em duas direções, do acionamento e do esticamento.

Figura 6 - Transportador de Correia do Sistema Virador de Vagões



Fonte: Próprio do Autor.

3.1.5 Moegas de Descarga

É o elemento de transição do material, Figura 7, utilizado no processo de descarga. São parcialmente construídas em concreto armado, com revestimento metálico e placas de desgaste. A parte inferior das moegas (tremonhas) é metálica e provida de placas de desgaste.

Possuem inclinação suficiente para impedir o acúmulo de material no seu interior, sendo que as mesmas são providas de vidas metálicas internas, destinadas a absorver o impacto do material descarregado, nos alimentadores de sapatas. No interior das moegas também são encontradas duas vigas quebra-torrão, que servem para segregar o material além de reduzir o impacto causado nas sapatas dos AL's.

Figura 7 - Moega inferior e AL's (Metso)



Fonte: <http://bemec.com.br/v1/wp-content/uploads/2014/01/Imagem-002.jpg>

3.1.6 Virador de Vagões (Barril)

Local onde são posicionados dois vagões simultaneamente, como pode ser visto nas Figuras 8 e 9, por meio dele os mesmos são girados em seu eixo longitudinal para uma posição de aproximadamente 162° ou 178° e descarregados, sendo que, o material cai nas moegas dispostas abaixo do virador. A fim de possibilitar o giro, os vagões dentro do virador são fixados por meio de garras (grampos) de fixação vertical para que fiquem retidos nos trilhos. O movimento máximo de giro do virador, que vai de -2° a 180° é limitado pelas chaves de fim de curso de emergência, pela chave de cames e pelos para-choques.

Figura 8 - Anel de entrada do Barril



Fonte: Próprio do Autor.

Figura 9 - Vista Geral do Barril e dos grampos de fixação vertical



Fonte: Próprio do Autor.

3.2 Dispositivos de fixação dos vagões

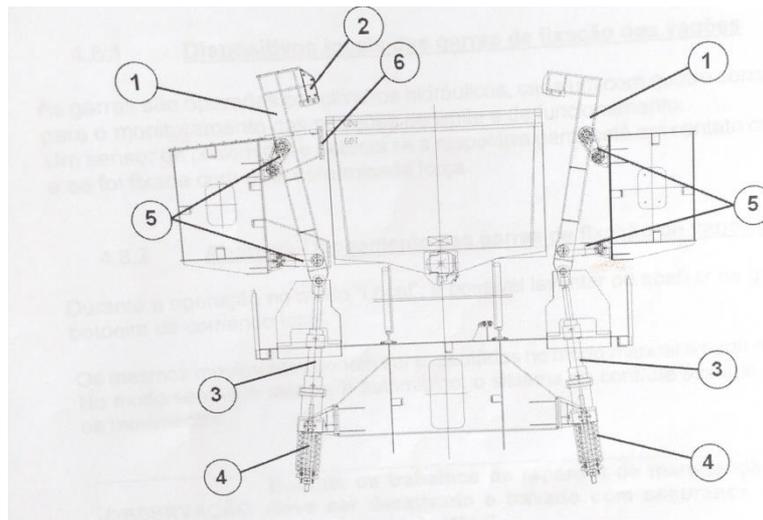
Para fixar os vagões durante a operação de descarga, o virador está equipado com garras de fixação vertical. Quando os vagões são virados para a descarga do material, evita-se que os mesmos saiam dos trilhos, por meio das

garras de fixação vertical, que os prendem em sua posição. No total são 8 garras, 4 para cada um dos dois vagões a serem virados.

Ao esvaziar os vagões, a pressão que o peso do material exercia sobre as molas dos mesmos é liberada. Para compensar isso, há uma mola instalada em cada dispositivo de fixação que é comprimida durante o ciclo de descarregamento, aliviando desta forma a pressão nas garras. Uma medida adicional é que as válvulas de bloqueio hidraulicamente pilotadas e a válvula relacionada ao cilindro de dosagem são abertas. Nessa posição, o óleo pode fluir do cilindro de dosagem para os cilindros principais que desta forma são aliviados.

Na Figura 10 a seguir um desenho esquemático mostrando os dispositivos de fixação:

Figura 10 - Dispositivos de fixação



Fonte: Memorial Descritivo Funcional. (THYSSENKRUPP, 2014, p. 29).

O dispositivo de fixação completo consiste de oito grampos (1), quatro colocados no lado de descarregamento e quatro no lado oposto (quatro por vagão). Os grampos possuem a forma de “L” invertido e fixam os vagões no sentido vertical.

Os grampos no lado de descarregamento são revestidos com placas defletoras resistentes ao desgaste (2) que servem para protegê-los e guiar o material despejado. A força de retenção necessária é ajustada por cilindros hidráulicos (3), um cilindro por grampo, instalados com molas de compressão (4) na plataforma do virador.

As molas de compressão servem para aliviar os grampos, depois do descarregamento dos vagões. Assim, as molas dos vagões também são parcialmente aliviadas e não dão solavancos quando os grampos se abrem novamente. Pela mesma razão, um cilindro de dosagem é conectado ao cilindro hidráulico que reduz sua pressão após o descarregamento.

O curso do cilindro para abrir os grampos para a passagem de vagões é de aproximadamente 150 mm para o tipo GDU e aproximadamente 320 milímetros para o tipo GDT. O curso total do cilindro hidráulico é de 470 milímetros.

Os grampos são suportados por dois tirantes (5) contendo pontos de articulação. O lado de descarregamento está alinhado com uma placa de proteção (6) para suportar a lateral do vagão durante a operação.

4 MINÉRIO DE FERRO

O ferro é quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, apresenta porcentagem média de na crosta é de 5,0% e está sempre presente em maior ou menor porcentagem em todas as classes minerais. Isso se dá pela alta capacidade de se oxidar ou reduzir conforme o ambiente.

4.1 Tipos de minério de ferro

De acordo com a quantidade de ferro encontrada, pode-se caracterizar o minério em diferentes grupos. E esse percentual de ferro encontrado para dividir-se em grupos é, também, em função do ambiente que se encontra.

4.1.1 Granulado ou *lump*

É o tipo de minério que possui maior valor de mercado devido a sua granulometria. Após um peneiramento simplificado, realizado apenas para a separação da parte grosseira, é utilizado diretamente nos altos-fornos.

4.1.2 *Sinter feed*

É o produto de minério de ferro mais comercializado atualmente. É um material que apresenta maior teor de ferro por ser resultado de um processo de britagem. O processo seguinte, sinterização, tem como objetivo aglomerar os finos de minério, ou seja, as partículas mais finas na presença de combustível sólido (carvão, por exemplo) e ligantes (calcário e cal). Todo esse processo permite o abastecimento dos altos-fornos com um produto mais concentrado, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - *Sinter feed*

Fonte: <http://zedudu.com.br/?cat=778>.

4.1.3 *Pellet feed*

O *Pellet feed* (Figura 12) é a matéria-prima portadora de ferro que é adicionada aos outros produtos para aglomeração de finos e, posteriormente, queimada em fornos a altas temperaturas. É o mais fino dos produtos de minério e o que apresenta menor valor de mercado. E esse valor, mais barato comparado com o granulado e o *sínter feed* se deve a necessidade de o material passar por um processo de pelletização para posteriormente ser utilizado pela indústria siderúrgica.

Figura 12 - *Pellet feed*

Fonte: <http://www.vale.com/en/business/mining/iron-ore-pellets/pages/default.aspx>

4.2 Umidade do minério de ferro

O material em questão provém das minas de Carajás (PA) e já foi caracterizado como um dos melhores minérios de ferro do mundo. O produto resultante do processo de extração da mina dessa localidade tem um alto teor de umidade (Figura 13) quando se compara com os outros tipos, principalmente pelo processo de peneiramento por via úmida que é realizado.

Figura 13 - Mina de Carajás



Fonte: <http://www.infoescola.com/geografia/serra-dos-carajas/>

De acordo com Moreira (2011), o minério de ferro de Carajás tem umidade de formação na ordem de 9% a 11%, devido ao processo de beneficiamento úmido. Takehara (2004) relata, para o *sínter feed*, a umidade é na ordem de 12% em pilhas de minério com aproximadamente 20 metros de altura (Figura 14). Não se pode esquecer que essa umidade é também influenciada pelas estações do ano. Em períodos chuvosos esse percentual aumenta consideravelmente, principalmente durante o processo de descarga pelos Viradores de Vagões (VV's), já que existe uma grande possibilidade de o minério ficar agregado na parede dos vagões.

Figura 14 - Pátio de estocagem de minério



Fonte: <http://mundo.intranetvale.com.br/PT/Unidade/Content/Brasil/ES>

5 APLICAÇÃO DE TAGUCHI NO VIRADOR DE VAGÕES

5.1 Coleta de dados

A partir do momento que se realiza o processo de montagem um equipamento e se acompanha os testes iniciais, pode-se enxergar pontos que trazem perdas na eficiência que são passíveis de alterações/melhorias. Então, a visão de engenharia busca por aqueles que podem inferir de grande importância e os que mais podem influenciar no desempenho do seu equipamento.

No momento da realização do procedimento de descarga, é possível perceber que existe uma quantidade de minério que não foi descarregada. Ela fica retida na base do grampo de fixação vertical. Essa quantidade pode parecer pouca quando se trata da capacidade de um único vagão. Porém, quando se trata de operação do equipamento, são descarregados 110 vagões, sendo que em um dia cada virador pode receber entre 5 e 8 lotes, onde cada um é composto pela quantidade de vagões citada acima. A coluna de minério pode ser vista na Figura 15 a seguir, e através dela, pode-se chegar a um valor base para medição quantitativa aproximada do problema em questão, e dessa forma, utilizar Taguchi para encontrar o ponto onde se apresenta menor perda de minério durante o processo de descarga.

Figura 15 - Coluna de minério localizada no retorno do giro



Fonte: Próprio do Autor.

Para a realização desta aplicação, várias etapas foram seguidas, cada uma correspondendo a uma linha de ação do projeto. É necessário começar os testes do Virador de Vagões para que se possa ter um ponto de partida para se realizar os cálculos necessários para se obter resultados concretos.

5.2 Parâmetros escolhidos

Visto que a metodologia Taguchi solicita uma quantidade de parâmetros para que eles possam ser variados entre si, buscando assim o modelo mais eficiente do seu produto/equipamento. Dessa forma, acompanhando a operação do virador de vagões, estudando “pontos defeituosos”, faz-se a pergunta: O que influencia para que ocorra tal efeito? E o que podemos fazer para mitigá-lo ou eliminá-lo?

Para esta aplicação 5 parâmetros foram escolhidos através da necessidade dos mesmos durante a operação para que fosse avaliada sua influência no defeito em questão. São eles:

5.2.1 Tipo de vagão

Como está se utilizando minério de ferro como material desta análise, escolheu-se dois tipos de vagões de carga, sendo ambos com design semelhante, porém com dimensões diferentes. O que torna possível a variabilidade como solicita o Método Taguchi.

- a) Vagão Gôndola GDU – Maior vagão de carga do Brasil que pesa aproximadamente 22 toneladas e possui capacidade de até 120 mil quilos de minério. É o vagão com dimensões maiores comparado ao outro em análise. A dimensão importante para esta análise é a altura da caixa de carga, o GDU em questão possui 2,5 metros de altura da caixa.

Figura 16 - Vagão Gôndola GDU



Fonte: Próprio do Autor.

- b) Vagão Gôndola GDT – apresenta um escopo semelhante ao GDU, visto na Figura 16. Possui peso de 20 toneladas e com capacidade de 100 toneladas. Por ter características com relação a quantidade menores que o GDU, suas dimensões, a altura da caixa de carga principalmente também é menor. Sendo de aproximadamente 1,9 metros.

Figura 17 - Vagão Gôndola GDT



Fonte: Próprio do Autor.

5.2.2 Design do Grampo

O grampo de fixação vertical é de fundamental importância para este estudo, afinal, é a base onde fica retido o problema em questão. Onde já foi feito um ponto de melhoria, que foi o acréscimo de chapas de aço, agindo como “flap” para auxiliar e melhorar o procedimento de descarga durante a operação.

Figura 18 - Grampo de fixação vertical sem flap



Fonte: Próprio do Autor.

O design do grampo era dessa maneira conforme projeto, após percepção da grande quantidade de material retido, fez-se uma melhoria para que essa retenção fosse reduzida, então, como dito anteriormente, chapas de aço foram soldadas na cabeça do grampo.

Figura 19 - Grampo de fixação vertical com flap

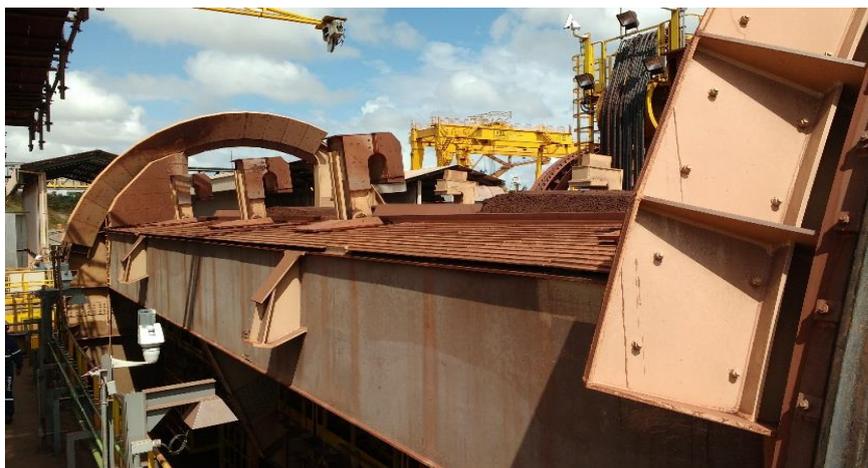


Fonte: Próprio do Autor.

5.2.3 Giro do Barril

Como dito no início do trabalho, o Barril é o local onde se posicionam dois vagões simultaneamente, sejam eles GDU ou GDT, para realizar a operação de descarga. O ponto focal da escolha deste parâmetro é por ter uma variação na angulação de giro. Foram definidos pontos diferentes para se estudar, o ponto de operação e o ponto de manutenção. O primeiro foi uma definição de projeto, para se utilizar 162° , dessa forma ganha-se tempo de ciclo por cada lote de 110 vagões. O segundo ponto selecionado para variação desse parâmetro é o giro de 180° , onde utilizado para testes e operações de manutenção.

Figura 20 - Barril do Virador de Vagões



Fonte: Próprio do Autor.

5.2.4 Tipo de minério

Para este estudo, o tipo de minério influencia diretamente pois há diferença entre os pesos específicos devido à granulometria presente em cada um dos tipos analisados. E tomando como base esse fator, o peso específico e a umidade desses tipos de minério. Como pode ser visto a seguir:

- a) *Sinter feed*: Partículas mais finas do que os outros tipos de minério, tem até 0,6 centímetros de diâmetro. Dessa forma o teor de umidade é maior devido a capacidade de aglomeração.

- b) *Pellet feed*: Pó de minério de ferro com granulometria elevada comparado ao *Sinter feed*. Apresenta um teor de umidade mais baixa com relação ao citado anteriormente, apesar de também ser fácil passar pelo processo de aglomeração, o processo de separação das partículas se dá mais naturalmente.

5.2.5 Atuação do Vibrador

O Virador de Vagões possui equipamentos auxiliares que ajudam no processo de descarga de minério. O vibrador é um deles. São dispostos dentro do Barril (onde posicionam-se os vagões). Cada virador apresenta dois vibradores, um para cada vagão, e eles atuam por gravidade, ou seja, durante o giro do Barril, eles entram em contato com a lateral do vagão, vibrando para que o minério agregado na parede do vagão se desprenda e evite uma retenção maior de minério.

Figura 21 - Vibrador



Fonte: Próprio do Autor.

Nesse caso, gerou-se uma discussão para a seleção ou não deste parâmetro. É de certa dificuldade ver os viradores de vagões operarem sem este componente, porém, a pergunta que veio mediante a estudo foi: caso o vibrador não estiver operando, quanto a mais de material ficaria retido dentro de cada vagão? Para responder essa pergunta, durante a fase de testes, com auxílio de correntes de fixação, foi possível segurar este componente em questão para que fosse possível

mensurar tal quantidade, utilizando fórmulas empíricas que poderão ser vistas mais à frente.

5.3 Tabela de parâmetros

Após o conhecimento de todos os parâmetros, o método de Taguchi orienta a elaboração de uma tabela base citando os mesmos e seus dois pontos de análise, como pode ser visto na Tabela 1. Posterior a isso, existe um padrão, estabelecido pelo próprio Taguchi para a variação destes parâmetros, sempre buscando todas as combinações possíveis com que se tem em mãos. E para cada combinação desta são realizadas pelo menos 2 testes para que se possa encontrar um valor médio para se tomar como base.

Tabela 1 - Parâmetros e pontos de variação

	Parâmetros	Nível
1	Tipo de Vagão	GDT
		GDU
2	Design do grampo	Sem chapa
		Com chapa
3	Giro do Barril	162º
		180º
4	Tipo de Minério	<i>Sinter feed</i>
		<i>Pellet feed</i>
5	Atuação do Vibrador	Sim
		Não

Fonte: Próprio do Autor.

5.4 Ponto de aplicação

No procedimento de descarga de minério, os viradores de vagões através dos grampos de fixação vertical prendem dois vagões simultaneamente em sua posição vertical para assim realizar o giro em torno do próprio eixo dos vagões, esse

que pode variar de 162° a 180° . O grampo de fixação (Figura 22) por ser robusto, é maior que a borda do vagão, ocupando assim uma parte para dentro do vagão, ou seja, acaba retendo uma certa quantidade de minério.

Figura 22 - Grampo de fixação



Fonte: Próprio do Autor.

Um dado constante, de um dos parâmetros escolhidos, necessário para se ter um valor aproximado foi o peso específico do minério de ferro. De acordo com a classificação dos materiais, o minério de ferro apresenta um peso específico de $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ (PRODETEC, 2014), onde também apresenta variações de acordo com o tipo de minério de ferro trabalhado. Como por exemplo, o *sínter feed* apresenta valor semelhante ao citado anteriormente, porém o *pellet feed* apresenta um valor de $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$ (TAKEHARA, 2004). Esses valores são de extrema importância pois, para se ter valores concretos de análise (encontrar a massa de material retido por vagão) a utilização de cada um deles se deu de forma pontual. Para se chegar a esses valores, foram necessários realizar alguns passos. Dos quais serão citados e mostrados a seguir:

1. Área da base do grampo de fixação vertical:

$$h = 350\text{mm} \rightarrow 35\text{cm}$$

$$B = 600\text{mm} \rightarrow 60\text{cm}$$

$$b = 500\text{mm} \rightarrow 50\text{cm}$$

OBS: O grampo apresenta sua base com formato trapezoidal. Suas medidas foram coletadas no período de montagem das novas chapas (de contato com o vagão) que se fixariam na base do grampo.

Cálculo da área da base:

$$A = \frac{(B + b) \cdot h}{2}$$

$$A = \frac{(60 + 50) \cdot 35}{2}$$

$$A = 1925 \text{ cm}^2$$

2. Altura da coluna de minério para cada tipo de vagão, considerando sua altura aproximada com a real:

OBS: Tendo as medidas da altura de cada vagão é possível encontrar a o ponto da coluna de minério retido, utilizando 50% da altura total.

- $GDU = 1900\text{mm} = 190 \text{ cm} \rightarrow 190 \times 0,5 = 95\text{cm}$
- $GDT = 1500\text{mm} = 150\text{cm} \rightarrow 150 \times 0,5 = 75 \text{ cm}$

3. Volume de minério retido em cada grampo:

OBS: Sabendo que a coluna formada é em formato de pirâmide que apresenta a seguinte formula:

$$V = \frac{1}{3} A_b \times h$$

Então:

$$GDU \rightarrow V = \frac{1}{3} 1925 \times 95 = 60959 \text{ cm}^3 \text{ ou } 0,061 \text{ m}^3$$

$$GDT \rightarrow V = \frac{1}{3} 1925 \times 75 = 48125 \text{ cm}^3 \text{ ou } 0,049 \text{ m}^3$$

Sabendo que o peso específico do minério de ferro é de 2800 kg/m³ e a fórmula empírica do peso específico é dividir a massa do material pelo seu volume, então:

$$\rho = \frac{m \text{ [kg]}}{v \text{ [m}^3\text{]}}$$

Como, o objetivo desta análise é encontrar a massa de minério retido em cada grampo, diferindo o tipo de vagão, faz-se a seguinte análise:

$$m_{GDU} = 2800 \times 0,061 = 170,8 \text{ kg}$$

$$m_{GDT} = 2800 \times 0,049 = 137,2 \text{ kg}$$

Dessa forma tal análise pode ser estudada, partindo para variações em conjunto com outros parâmetros estudados em questão, encontrando assim os pontos médios e analisando o Sinal/Ruído de cada um destes parâmetros aplicados em cada situação.

5.5 Variação dos parâmetros

Para se obter resultados consistentes através da análise e discussão dos mesmos, a variação dos parâmetros e testes para cada situação são necessários para obtenção de uma média e, juntamente com ela, encontrar o fator sinal/ruído através da equação mostrada a seguir.

$$SN_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y^2 i} \right)$$

Dessa forma, ordenando os dados e já, de acordo com o Método Taguchi, colocando os pontos de variação entre eles, é possível formar a tabela de análise, onde se exhibe os dados de cálculos, todos eles realizados com base no item 5.4 deste trabalho, a ordem de cada teste com uma combinação dos parâmetros escolhidos e, posteriormente, a criação de gráficos mostrando a importância de cada parâmetro em análise neste estudo, como poderá ser visto na sequência.

Tabela 2 - Ordenação dos parâmetros para os testes

Experiência	Parâmetros				Atuação do Vibrador
	Tipo de Vagão	Formato do grampo	Giro do Barril	Tipo de Minério	
1	GDT	Sem chapa	162º	<i>Sinter feed</i>	Sim
2	GDT	Sem chapa	162º	<i>Pellet feed</i>	Não
3	GDT	Com chapa	180º	<i>Sinter feed</i>	Sim
4	GDT	Com chapa	180º	<i>Pellet feed</i>	Não
5	GDU	Sem chapa	180º	<i>Sinter feed</i>	Não
6	GDU	Sem chapa	180º	<i>Pellet feed</i>	Sim
7	GDU	Com chapa	162º	<i>Sinter feed</i>	Não
8	GDU	Com chapa	162º	<i>Pellet feed</i>	Sim

Fonte: Próprio do Autor.

Neste estudo, para cada linha da Tabela 2, foram realizados 3 testes, cada um com o cálculo da massa de minério retido no processo de descarga de minério através do Virador de Vagões. Desses testes, tira-se a média dos valores obtidos para se trabalhar em cima dela na obtenção de resultados.

Outro ponto que deve ser destacado nos cálculos é que a taxa de ocupação do minério dentro do vagão ou seja, a altura da coluna de material, é variável, sendo praticamente impossível ter resultados extremamente precisos. Então para cada um dos testes, utilizou-se 3 porcentagens de atuação. Para o teste 1, 45% da altura do vagão foi adotado, no teste 2, 50%. Já no teste 3, 55%. Dessa forma podemos estabelecer uma média aceitável na obtenção de valores consistentes. Essa variação de porcentagem foi aplicada em todos os 8 experimentos, como poderá ser visto na tabela 3 a seguir.

A partir do momento que você obtém os valores de cada teste e a média entre eles, utiliza-se a fórmula do Sinal/Ruído, especificado anteriormente, para que assim se construa os gráficos de análise. Esses dois fatores do método Taguchi, são, principalmente, para se chegar ao objetivo deste trabalho, encontrar o(os) parâmetro(s) que mais influenciam no ponto de perda de material.

Tabela 3 - Testes e Sinal/Ruído

Experiência	Resultados			Média e Ruído	
	T1 (Kg)	T2 (Kg)	T3 (Kg)	Tm (Kg)	S/R
1	145,8	146,4	146,8	146,33	43,31
2	107,8	108,6	107,9	108,10	40,68
3	142,1	143,2	140,6	141,97	43,04
4	107,4	108,1	107,5	107,67	40,64
5	170,8	170,4	171,5	170,90	44,65
6	134,2	133,9	134	134,03	42,54
7	170,4	169,9	169,7	170,00	44,61
8	131,5	130,9	132,4	131,60	42,38

Fonte: Próprio do Autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do momento que têm todos os dados dos procedimentos realizados anteriormente, dois pontos são necessários para se analisar o método Taguchi de projeto robusto. Como dito no objetivo deste trabalho, necessita-se encontrar o(os) parâmetro(s) de maior influência na retenção de minério durante o procedimento de descarga de um Virador de Vagões. E para se chegar a esse ponto em questão, a média dos valores obtidos através dos testes e o Sinal/Ruído, irão informar, através da elaboração de gráficos os parâmetros que mais variam, e quanto mais variação maior a influência desse estudo. Até porque o método de Taguchi nos apresenta esta citação como um dos caminhos de aplicação de sua metodologia.

Para se alcançar a análise, é preciso fazer uma relação entre os dois pontos dito no parágrafo anterior, que poderá ser vista na tabela 4, a seguir. A partir desta relação se analisa parâmetro por parâmetro através de gráficos para cada um.

Tabela 4 - Média dos Testes e Sinal/Ruído

Parâmetros	Nível	Tm(Kg)	S/R
Tipo de Vagão	GDT	126,02	41,92
	GDU	151,63	43,55
Formato do Grampo	Sem chapa	139,84	42,80
	Com chapa	137,81	42,67
Giro do Barril	162°	139,01	42,74
	180°	138,64	42,72
Tipo de Minério	<i>Sinter feed</i>	157,30	43,90
	<i>Pellet feed</i>	120,35	41,56
Atuação do Vibrador	Sim	138,48	42,82
	Não	139,17	42,65

Fonte: Próprio do Autor.

6.1 Análise por parâmetro

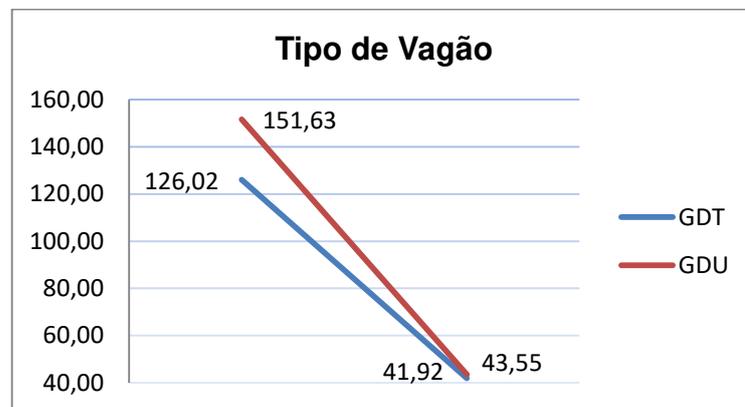
Com base nos testes realizados, resultados obtidos e o valor do Sinal/Ruído pode-se visualizar pontos de maior influência naquilo proposto por este estudo. Visto que, todos os cálculos foram feitos por valores bem aproximados,

devido a extrema dificuldade de se recolher o material durante a operação de um Virador de Vagões. Dessa forma, eles possuem um valor próximo à quantia real e são fundamentados em raciocínio lógico. Dessa forma obtém-se os gráficos para as análises e discussões a seguir.

6.1.1 Parâmetro 1: Tipo de Vagão

Como visto na Tabela 4, para cada tipo de vagão obteve-se um valor médio de massa retida e um valor de Sinal/Ruído.

Gráfico 1 - Tipo de Vagão



Fonte: Próprio do Autor.

Percebe-se no Gráfico 1 que há uma boa variação destes valores quando se compara os vagões GDU e GDT. Isso ocorre devido sua capacidade, como citado anteriormente neste trabalho, e pelo seu dimensionamento. O GDU é um vagão mais robusto, então a quantidade de material retido também seria maior pela altura da coluna de minério formada na sua parede.

6.1.2 Parâmetro 2: Design do grampo

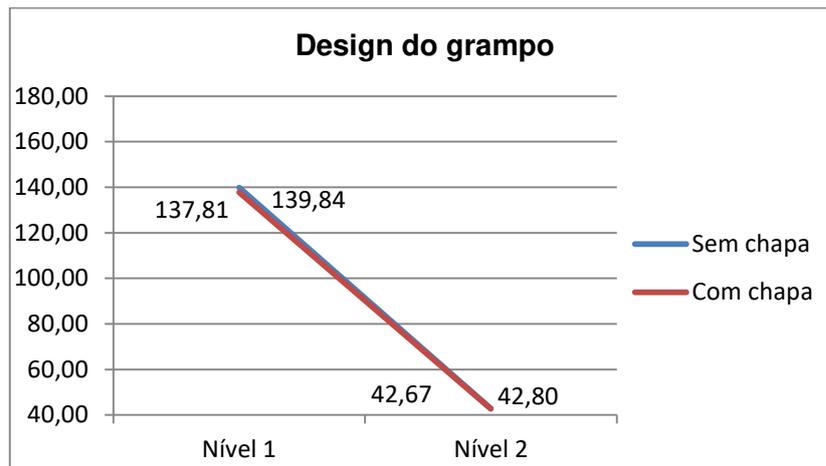
Os dois pontos deste parâmetro, foi analisar a já melhoria implantada no virador de vagões. No início dos testes foi implantado *flaps* para se mitigar esse problema de retenção de material.

Ainda não havia um estudo que mostrasse o quantitativo real de impacto da implantação destas chapas. O método Taguchi, nessa aplicação também tem

importância nesse ponto, que, além de buscar os parâmetros que mais influenciam no problema analisado também. Esses valores são mostrados na Tabela 3 e, na Tabela 4, suas médias.

No gráfico fica mais nítido a posição deste parâmetro escolhido no problema de análise, como pode ser visto a seguir:

Gráfico 2 - Design do grampo



Fonte: Próprio do Autor.

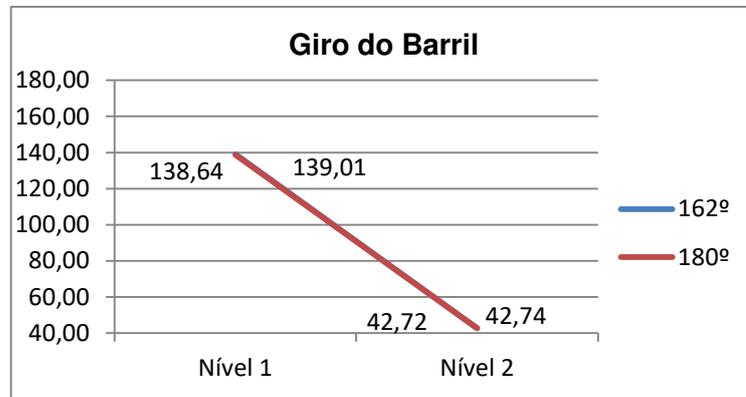
Como pode ser visto o Gráfico 2, as linhas de análise deste parâmetro com relação à média dos testes e o Sinal/Ruído, comparando a existência ou não dos *flaps*, chegam a se confundir, com valores bem próximos. Ou seja, a influência deste não chega a ter um impacto tão grande na retenção de minério, apesar de que a presença dessa melhoria, com visão de longo prazo, seja bem viável, principalmente pelo fato de estar com foco no objetivo deste estudo que é a redução da quantidade de material retido.

6.1.3 Parâmetro 3: Giro do Barril

Esse parâmetro já apresenta uma angulação fixa de operação do equipamento, que foi escolhida para análise, e como existe um controle de ciclo de operação deste equipamento, a mudança dessa angulação se torna mais difícil, porém quando se fala em giro para manutenção, esse parâmetro pode sofrer

alterações. Desta forma, pode-se observar no gráfico a seguir o comportamento da carga retida de minério relacionada a este parâmetro.

Gráfico 3 - Giro do barril



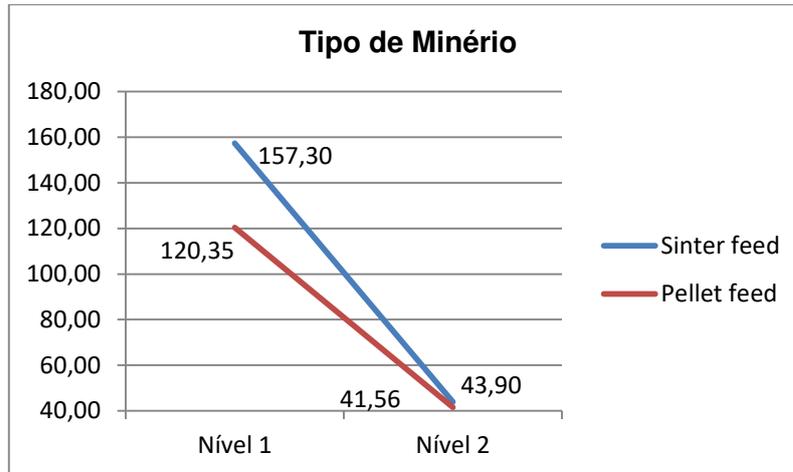
Fonte: Próprio do Autor.

Da mesma forma que o parâmetro anterior às linhas de análise chegam a se confundir, principalmente pelo fato de que o vagão e a coluna de minério ainda ficam retida pois a base trapezoidal da cabeça do grampo de fixação vertical avança para o interior da caixa dos vagões, então ainda assim segurando e formando a coluna de material.

6.1.4 Parâmetro 4: Tipo de minério

Este é um parâmetro importante, pois se trata justamente do material analisado. E o ponto específico de análise entre os dois tipos escolhidos (*sinter feed* e *pellet feed*) é por sua diferença granulométrica e pela sua umidade. São pontos fundamentais na indicação de qual desses dois tipos tem facilidade de segregação. E através do Gráfico 4, a seguir, poderá ser visto o resultado dessa discussão.

Gráfico 4 - Tipo de minério



Fonte: Próprio do Autor.

É visto que pelas propriedades de cada um desses dois tipos de minério, o *pellet feed* apresenta características para descarga pelo Virador de Vagões bem acima do *sinter feed*. Por possuir grãos maiores, e por apresentar menos umidade, aquele possui facilidade de se desprender da parede do vagão. Mas isso não implica dizer que este não é para ser descarregado. Esse estudo mostra um comparativo entre os dois tipos de minérios analisados e um explicativo do porque o *pellet feed* se comporta, nesse processo, melhor que o *sinter feed*.

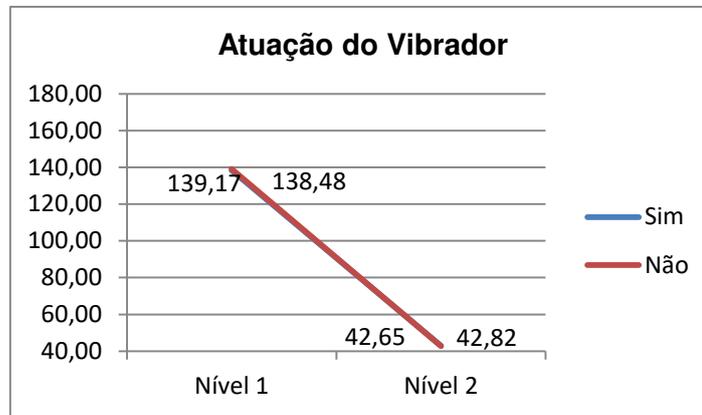
Além disso, esse parâmetro, como visto no Gráfico 4, se torna bem influente devido a variação significativa entre os valores encontrados com relação a cada tipo de minério, juntamente com um outro parâmetro analisado neste estudo, o tipo de vagão.

6.1.5 Parâmetro 5: Atuação do vibrador

Esse parâmetro foi escolhido por um questionamento, como visto no início deste trabalho, o vibrador sempre atua em todo o ciclo de operação. Mas caso ele não atuasse, quanto a mais de minério ficaria retido? Então, durante os testes do equipamento, constou-se que era necessário trocar a corrente de fixação do vibrador, então houve um tempo em que o vibrador não atuou, sendo possível perceber o acréscimo na coluna de material retido. A partir disto foi possível a

quantificação de um valor aproximado do real para este ponto, como pode ser visto no Gráfico 5, a seguir.

Gráfico 5 - Atuação do vibrador



Fonte: Próprio do Autor.

Tendo em mãos os valores relacionados a este parâmetro, pode-se perceber que as linhas também se confundem, porém, a atuação do vibrador se torna essencial porque ele auxilia na separação do minério da parede do vagão, principalmente do lado oposto ao da descarga. E esses valores são bem aproximados porque quando o material se desprende do lado oposto à descarga, ele automaticamente cai para o lado da descarga, que é justamente o local onde se forma a coluna de material. Esse é o principal motivo das linhas do Gráfico 5, se confundirem.

Como dito anteriormente, a atuação do vibrador é uma das condições operáveis, e como ele atua por gravidade, durante o giro do barril, o mesmo vai quase sempre encostar na lateral dos vagões, portanto, a análise deste parâmetro se deu para uma condição especial de operação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um ponto que podemos deixar com este trabalho é uma ideia de projeto ideal de acordo com a aplicação escolhida, com base na combinação entre todos os parâmetros em seus pontos de maior eficiência. Com os valores calculados e se obtendo a relação Sinal/Ruído de cada um, podem-se utilizar os menores valores de cada parâmetro analisado para se encontrar qual experimento terá menor retenção de minério. Essa combinação é mostrada da seguinte forma:

- Tipo de Vagão → GDT;
- Formato do grampo → Com chapas;
- Giro do Barril → 180°;
- Tipo de minério → *Pellet feed*;
- Atuação do Vibrador → Sim.

Essa é uma condição bem rara de acontecer, devido às especificações de operação do equipamento, já que o mesmo precisa atender a demandas de lote para descarga. O tipo de vagão teria uma explicação simples, pelo fato de sua capacidade, o formato do grampo já é fixo, pois, como dito anteriormente, a presença de chapas já foi uma melhoria de projeto implantada no Virador de Vagões, o giro do barril, é uma condição a ser estudada de maneira a não influenciar tanto no ciclo de operação do Virador, então se torna, neste momento inviável estabelecer essa angulação de 180° que, hoje, é uma condição de manutenção do equipamento. O tipo de minério se dá pela sua granulometria e umidade, fatores que influenciam diretamente na coluna de material formada, e quanto maior a granulometria melhor a descarga. E, por fim, a atuação do vibrador é uma condição normal de operação, já que o mesmo atua por gravidade. E como já visto nesse trabalho, a sua “retirada” foi uma condição especial por um curto período de tempo. Com os resultados e explanação de todos os parâmetros escolhidos, pode-se perceber, os que mais influenciam são: Tipo de vagão e Tipo de minério. Porém para um ponto ótimo deste projeto, uma modificação nesses dois parâmetros seria de um trabalho longo e com alto custo, inviável para o cenário de crise pelo qual passamos nos dias de hoje. Um estudo para se modificar a área da base dos grampos de fixação vertical, seria mais viável. O aspecto HHT (homem hora

trabalhado) exigiria um custo menor, do que mudar o design estrutural de todos os vagões, sendo que um lote é composto por 110 vagões.

Se tratando da quantidade de material retida em apenas um grampo de fixação vertical, suponha que os valores mostrados nas equações para encontrar a massa do GDU e a do GDT, 170,8 Kg e 137,2 Kg, respectivamente, sejam fixos. Dessa forma, por vagão GDU, em um lote a quantidade retida de material se dá pela multiplicação da quantidade individual por 220, já que em cada vagão se atuam dois desses grampos. Ao fazer essa conta para esse tipo de vagão por lote, se encontra 37.576 Kg de minério retido. Para o GDT, fazendo a mesma análise, a quantidade é um pouco menor devido a capacidade do vagão e seu dimensionamento que é de 30.184 Kg por lote.

Essa quantidade não para por aí, se você levar em consideração que um único virador de vagões recebe entre 7 e 10 lotes por dia, a perda será muito maior. Além disso, ainda é preciso fazer outra consideração, não existe apenas um virador em operação. Para este estudo foram analisados dois viradores, então a partir disso, deu-se a importância dessa aplicação para o método Taguchi.

Dessa forma, para melhorias futuras, tem-se um ponto de partida para que se entrem estudos com objetivo de mitigar esse problema da retenção de minério. Temos em mãos uma quantidade significativa de material, visto que é preciso realizar uma intervenção para que essa quantidade seja aproveitada. Se por acaso existir um plano de trabalho de operadores para “limpar” os vagões para retirar essa quantidade retida, já se torna uma maneira para redução de custo.

REFERÊNCIAS

CHENG, Lin Chih; REY FILHO, Leonel. **Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Produtos**. 2. ed., São Paulo: Blucher, 2010.

CLAUSING, Ramon. **Projeto Robusto**. 1994. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME714/Projeto%20Robusto.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2016.

GUACHALLA, William Faria. **Avaliação dos reflexos da operação do virador de vagões em produção e na fila de trens para descarga de produtos**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GURUS da Qualidade. Disponível em: <file:///C:/Users/L%C3%ADlian/Downloads/GURUS_DA_QUALIDADE.pdf>. Acesso em: 05 set. 2016.

MELO, Paula M. **Método de Taguchi**: Controlo de Qualidade com recurso não-convencional ao desenho estatístico de experiências (DOE). Artigo científico – Instituto Português de Administração de Marketing, Lisboa, 2012.

MOREIRA, Thiago Borges Gomes. **Avaliação de drenagem com geossintéticos para diminuição da umidade no minério de ferro da serra de Carajás**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PHADKE, M.S. **Quality engineering using robust design**. Englewood: Pendice Hall, 1989.

PICCHI, F. A. **Sistema de qualidade**: uso em empresas de construção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PRODETEC. **Tabela de Pesos Específicos**. 2014. Disponível em: <http://www.prodetc.com.br/downloads/pesos_especificos.pdf>. Acesso em 25 out. 2016.

RABELO, Marcelo Rodrigo et al. Otimização de um helicóptero de papel utilizando o método de Taguchi. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA, 21., 2014, São Luís. **Anais...** São Luís: UEMA, 2014.

RIGONATTO, Marcelo. "**Volume da Pirâmide**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/matematica/volume-piramide.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

ROSS, Philip J. **Taguchi technique for quality engineering**: loss function, orthogonal experiments, parameters and tolerance design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

_____. **Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade**. MAKRON Books, 1991.

SILVA, Marcos Noé Pedro Da. "**Trapézio**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/matematica/quadrilateros-e-trapezio.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

TAGUCHI, Genichi. "**Quality Engineering in Productions Systems**". 2011. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Genichi_Taguchi>. Acesso em: 20 ago. 2016.

_____. **Introduction to quality engineering**: designing quality into products and processes. Trad. Por Sekkeisha. 6ed. Tokyo: The Organization. 1986.

TAGUCHI, Genichi; CHOWDHURY, Subir; TAGUCHI, Shin. **Robust Engineering**: learn how to boost quality while reducing cost & time to marketing. McGraw Hill Professional, 1. ed. EUA, 1999.

TAKEHARA, Lucy. **Caracterização Metalúrgica dos principais minérios Brasileiros – Fração Sinter feed**. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

THYSSENKRUPP. **Memorial descritivo funcional – Viradores de Vagões**. 2014.