

LUÍS GUSTAVO AMORIM FERREIRA

**APLICAÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTO NO PROCESSO DE
MANUFATURA DE UMA BOBINA DE ALUMÍNIO**

Guaratinguetá
2015

LUÍS GUSTAVO AMORIM FERREIRA

APLICAÇÃO DE PROJETO DE EXPERIMENTO NO PROCESSO DE
MANUFATURA DE UMA BOBINA DE ALUMÍNIO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

Guaratinguetá
2015

F383a	Ferreira, Luis Gustavo Amorim Aplicação de projeto de experimento no processo de manufatura de uma bobina de alumínio / Luis Gustavo Amorim Ferreira – Guaratinguetá, 2015. 65 f. : il. Bibliografia : f. 51-55 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Orientador: Prof. Dr Otávio José de Oliveira 1. Gestão da qualidade total 2. Bobinas 3. Alumínio - Metalurgia I. Título CDU 658.56
-------	--

LUIS GUSTAVO AMORIM FERREIRA

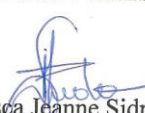
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA MECÂNICA"

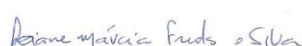
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. Marcelino Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Otávio de Oliveira
Orientador / UNESP-FEG


Profª. Francisca Jeanne Sidrin de Figueiredo
UNESP-FEG


Profª. Liane Márcia Freitas e Silva
UNESP-FEG

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

LUÍS GUSTAVO AMORIM FERREIRA

NASCIMENTO	25.06.1990 - GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Benedicto Osni Ferreira Cláudia Maria Cesar Amorim
2009/2015	Curso de Graduação Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista - Campus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado à graça da vida e ter me proporcionado tantas realizações ao longo deste período na universidade.

aos meus pais Osni e Cláudia, que sempre me apoiaram, me proporcionaram a oportunidade de estudar e pensaram no meu bem estar durante a faculdade.

a minha namorada Paula, que nos momentos mais difíceis esteve ao meu lado sendo uma grande amiga e conselheira.

aos meus amigos, que se tornaram parceiros inseparáveis para toda a vida.

ao meu orientador, Prof. Dr. Otávio José de Oliveira que acreditou no meu potencial e me conduziu competentemente a construção deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste objetivo.

Sem vocês a sensação de vitória não teria o mesmo significado.

FERREIRA, L. G. A. **Aplicação de projeto de experimento no processo de manufatura de uma bobina de alumínio**. 2015. 65 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Produtos devem seguir especificações com objetivo de atender as demandas solicitadas. Em termos de laminados de alumínio, um dos itens mais significativos para os clientes é a espessura das bobinas. Isto porque apenas uma pequena variação em termos de espessura pode causar um grave problema na linha de produção do cliente. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo aplicar o projeto de experimentos no processo de manufatura de uma bobina de alumínio analisando quais os fatores e como eles afetam a espessura das bobinas de alumínio. Desse modo, a variável resposta do experimento corresponde à espessura das bobinas de alumínio, os limites de escoamento e resistência são os fatores deste experimento e as máquinas refiladoras foram consideradas como bloqueio. Os dados foram obtidos por meio de testes de tração. O resultado deste experimento afirma que, segundo a análise de variância (ANOVA), há diferença significativa entre os dois níveis do limite de resistência, porém não há diferença significativa entre os dois níveis de resistência à escoamento e máquinas refiladoras. A espessura da bobina de alumínio com elevado valor de resistência à tração tende a ser mais espessa quando comparada com baixos valores de resistência à tração.

PALAVRAS CHAVE: Gestão da Qualidade. Projeto de Experimento. Laminados de Alumínio.

FERREIRA, L. G. A. **Aplication of the design of experiment in the manufacturing process of an aluminum coil.** 2015. 65 p. Graduate Work (Bachelor Degree in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Products must follow specifications in order to attend demands requested. In terms of rolled aluminum, one of the most significant items for customers is coil thickness. This is because only a tiny variation in thickness might cause a serious problem on customer's manufacturing line. Thereby, this research aims to analyze through design of experiments which factors and how they affect the thickness of aluminum coils. The response variable of the experiment is the thickness of aluminum coil, tensile strenght and yield strenght are the factors of the experiment and trimmers machines were considered as blocking. Data were obtained through tensile tests. The result of the experiment states that, according to the analysis of variance (ANOVA), while there is significant difference between the two levels of tensile strength, there is not any difference between the two levels of yield strength and trimmers machines. The thickness of the aluminum coils with high values of tensile strength tends to be thicker when compared with low values of tensile strength.

KEYWORDS: Design of Experiments. Quality Management. Rolled Aluminium.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inter-relação sobre o conceito de qualidade.	22
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa.	23
Figura 3 – Análise de Modo e Efeito de Falha.	28
Figura 4 – Modo geral de um processo.	29
Figura 5 – Design do Fatorial 2^3	33
Figura 6 – Etapas da pesquisa.	35
Figura 7 – Processo de Produção do Alumínio.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação da Espessura.	38
Tabela 2 – Adaptação da aplicação do FMEA.	38
Tabela 3 – Informações do Projeto de Experimento.	40
Tabela 4 – Análise de Variância.	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Teste Anderson-Darling.	40
Gráfico 2 – Capabilidade de Processo.	41
Gráfico 3 – Gráfico de Controle do Limite de Escoamento.	42
Gráfico 4 – Gráfico de Controle do Limite de Resistência.	43
Gráfico 5 – Análise de Tendência.	44
Gráfico 6 – Gráfico de Efeitos Principais.	45
Gráfico 7 – Gráfico de Contorno.	47

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Distribuição F de Snedecor com α igual a 5%.	56
Anexo B – Dados de Dados utilizada no Projeto de Experimento.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA	Análise de modo e efeito de falha
LM	Linha de controle média
LCS	Limite de controle superior
LCI	Limite de controle inferior
LSE	Limite superior de especificação
LIE	Limite inferior de especificação
RPN	Número de prioridade de risco
DoE	Projeto de Experimento
ANOVA	Análise de Variância
OFAT	Um fator por vez
CL	Nível de confiança estatístico

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{\bar{X}}$	Média das médias amostrais
A_2	Coefficiente estatístico A_2
$\bar{R}$	Média das amplitudes amostrais
C_p	Índice de capacidade potencial do processo
σ	Sigma
C_{pk}	Índice de capacidade nominal do processo
P	Probabilidade de ocorrência de modo de falha
S	Gravidade do modo de falha
D	Detecção do modo de falha
a	Número de níveis no projeto de experimento
N	Número de amostras utilizadas no projeto de experimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.2 DELIMITAÇÃO	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 GESTÃO DA QUALIDADE	18
2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	22
2.3 PROJETO DE EXPERIMENTO	28
3. MÉTODO DE PESQUISA	34
4. EXPERIMENTO	36
4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	36
4.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO	37
4.3 FMEA	38
4.4 COLETA DE DADOS	39
4.5 EXPERIMENTAÇÃO	39
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO	40
4.6.1 Teste Anderson-Darling	40
4.6.2 Capabilidade de Processo	41
4.6.3 Gráficos de Controle	42
4.6.4 Análise de Tendência	44
4.6.5 Gráfico de Efeitos Principais	45
4.6.6 Análise de Variância (ANOVA)	46
4.6.7 Gráfico de Contorno	47
5. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	51
ANEXO A	56
ANEXO B	57

1. INTRODUÇÃO

A habilidade de interpretar e analisar os dados da qualidade pode beneficiar os processos das organizações em questões relacionadas à satisfação do cliente e mudanças mercadológicas (PÉREZ-ARÓSTEGUI; BUSTINZA-SÁNCHEZ; BARRALES-MOLINA, 2014). O sucesso de uma organização não é observado somente por meio de produtos com qualidade, mas também por seus processos que devem cooperar de forma integrada com o sistema de gestão da qualidade (SHAN; ZHAO; HUA, 2013).

É primordial para as empresas garantir a qualidade dos produtos cumprindo com o objetivo de atender as necessidades dos clientes (ÁLVAREZ *et al.*, 2015). A gestão da qualidade tem um papel importante no processo de manufatura de produtos, uma vez que inclui as atividades de dirigir, controlar e coordenar, somado ao planejamento da qualidade (ALLEN, 2013; LIEPINA; LAPINA; MAZAI, 2014).

O Sistema de gestão da qualidade está diretamente ligado ao crescente uso das ferramentas da qualidade (FRAISAT; SAWALHA, 2013). Enquanto empresas buscam atingir o nível de qualidade total, surge a necessidade do crescente uso das ferramentas de controle de qualidade (HERAS; MARIMON; CASADESÚS, 2011). As ferramentas da qualidade são técnicas utilizadas com o objetivo de definir, mensurar, analisar e propor soluções situações que interferem no desempenho de processos e serviços (SILVA *et al.*, 2013).

O Projeto de experimento é considerado uma importante técnica estatística que pode ser usada de forma aliada a qualidade para estudar o efeito de variáveis de processo que afetam a resposta de um sistema (BUCHERT *et al.*, 2015). Por meio de uma abordagem que além de avaliar os seus fatores e níveis permite a eliminação de fatores perturbadores (BABANOVA *et al.*, 2014), sua prática vem ganhando aceitação como elemento fundamental para melhorar o entendimento dos processos de manufatura (ANTONY; SIVANATHAN; GIJO, 2014).

Para este trabalho a experimentação foi utilizada em benefício da produção de bobinas alumínio, para determinar como a variável resposta, espessura do alumínio é afetada pelas características inertes ao processo, visto que esta variável influencia diretamente a manufatura de latas dos clientes.

Considerando que este segmento de mercado está em contínuo crescimento desde os últimos quinze anos, e se mantém aquecido em razão dos eventos esportivos como Copa do Mundo e Olimpíadas no Brasil (SANTOMAURO, 2015).

Para a realização deste estudo foi utilizado pesquisa quantitativa abordando o método de experimentação, que possibilita a manipulação das variáveis independentes, determinando níveis para elas, e posteriormente poder observar o resultado da variável resposta (CAUCHICK *et al.*,2011).

Com base no exposto, a questão de pesquisa que norteará o desenvolvimento deste trabalho é: quais fatores afetam a espessura das bobinas de alumínio? E como isto acontece?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é, por meio de um experimento, identificar quais os fatores e como eles afetam a espessura de bobinas de alumínio, uma característica considerada primordial para a satisfação dos clientes.

Para atingir tal objetivo, destacam-se a utilização de alguns objetivos específicos, tais como:

- Selecionar por intermédio da ferramenta da qualidade FMEA quais os principais fatores que influenciam a espessura de bobinas de alumínio.
- Realizar um projeto de experimento para melhor entender o processo de manufatura de bobinas de alumínio.
- Analisar e discutir como esses fatores afetam a espessura de bobinas de alumínio e consequentemente a satisfação de clientes.

1.2 DELIMITAÇÃO

Esta pesquisa está restrita ao estudo de gestão da qualidade, e dentro deste contexto realiza-se um experimento com os potenciais fatores selecionados por meio da aplicação do FMEA, pelo departamento de tecnologia de uma empresa multinacional do segmento de laminados de alumínio.

Desta maneira, procurou-se delimitar seu escopo de análise em relação ao objeto de estudo (gestão da qualidade e projeto de experimento), ao segmento industrial, e o foco geográfico (uma empresa situada em Pindamonhangaba, no Vale do Paraíba), a fim

de analisar e aumentar o entendimento dos dados da qualidade e o grau de aplicabilidade de seus resultados.

1.3 JUSTIFICATIVA

A busca pela melhoria de processos, redução de custo e satisfação de clientes, juntamente com o aumento da qualidade de produtos, está cada vez mais em destaque nas grandes empresas e possuem forte impacto diante da concorrência (WU; ZHANG, 2013).

Nos últimos quinze anos o mercado de alumínio brasileiro cresceu a uma taxa de 3,9% ao ano, sendo 3,2% relativo à produção primária e 10% provido da reciclagem. As exportações apresentaram crescimento mais expressivo somando 10,4% ao ano, elevando a oferta nacional por esses produtos providos do alumínio, mesmo com o momento econômico não favorável (SANTOMAURO, 2015).

O mercado de alumínio ao longo dos anos tornou-se bastante diversificado fornecendo, produtos para a indústria automotiva, construção, fabricação de bens de consumo, equipamentos de fundição e o mercado de latas.

O mercado de latas brasileiro vem se mantendo aquecido em razão dos eventos esportivos, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, estes fatores contribuem para que os fabricantes de latas ampliem a sua produção e leva os fornecedores a aumentarem a sua oferta, como no caso da multinacional de laminados de alumínio Novelis, que acaba de concluir um investimento de R\$ 21 milhões em seu centro de laminação e reciclagem na cidade de Pindamonhangaba (SANTOMAURO, 2014).

Com o significativo aumento da demanda por laminados de alumínio, a qualidade dos produtos se torna imprescindível para a satisfação do cliente frente à concorrência do mercado externo. E também as pressões globais para a redução emissões de gás carbônico, ocasionaram no aumento da demanda por alumínio reciclado (HIRSCH, 2014).

Em razão da importância deste segmento de mercado, este estudo foi realizado para entender melhor quais as variáveis que afetam a espessura das bobinas de alumínio, visto que esta exigência é considerada primordial por parte dos clientes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Seguinte à introdução, está o Capítulo 2 que aborda por meio de uma breve visão geral os temas relevantes a este estudo, que são gestão da qualidade, ferramentas da qualidade e projeto de experimento. O método de pesquisa é apresentado no Capítulo 3. Então, o experimento é desenvolvido e analisado no Capítulo 4. Por fim, o estudo é concluído com o Capítulo 5 sobre os principais achados e sugestões para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

O conceito da qualidade pode ser definido como a concordância de produtos ou serviços com requerimentos pré-determinados, no qual o produto precisa atender as expectativas dos consumidores (MELLAT-PARAST, 2012; ÁLVAREZ *et al.*, 2015). Em termos de manufatura significa fornecer produtos que atendam as necessidades dos clientes proporcionando-lhes satisfação (FRAISAT; SAWALHA, 2013).

O início da produção em massa transformou o conceito da qualidade, que foi evoluindo de uma simples linha produtiva para uma ampla abordagem dos sistemas fabris, gerenciando e envolvendo toda a empresa (WU; ZHANG, 2013). Este cenário favoreceu o desenvolvimento da gestão da qualidade, que engloba uma série de procedimentos durante o processo de manufatura sempre visando avaliar se os requerimentos iniciais dos produtos estão dentro dos padrões de qualidade pré-estabelecidos (LIEPINA; LAPINA; MAZAIS, 2014).

A qualidade possui muitas dimensões, tais como performance, conformidade, durabilidade, estética, dentre outras, ela deve ser determinada para cada produto baseado no que o consumidor deseja por intermédio de características mensuráveis e limites de variabilidade (PEREIRA *et al.*, 2015).

Desse modo, a gestão da qualidade está relacionada com toda a cadeia de valores abrangendo por completo a rede de fornecimento, manufatura, e atendimento ao cliente, incluindo todas as áreas de uma organização (JONAS; KOCK; GEMUNDEN, 2013).

Os sistemas de gestão da qualidade visam à melhoria contínua da qualidade de produtos e processos, com o objetivo de obter a satisfação de clientes, e consequentemente melhorar o desempenho dos negócios (WU; ZHANG, 2013). Segundo Fraiset e Sawalha (2013), estes sistemas são voltados para a melhoria, sendo que a aprendizagem é considerada um fator primordial, relevando que ganhar a satisfação do cliente não se resume em apenas atender suas especificações. De acordo com Wu e Zhang (2013), as necessidades dos clientes também incluem questões como confidencialidade e assistência técnica com linguagem simples.

A gestão da qualidade pode ser entendida como uma função que objetiva medir e melhorar o sistema de produção e o fluxo de informações (PEREIRA *et al.*, 2015). Assim, beneficia todos os processos de gestão, uma vez que seus resultados

proporcionam estabilidade e evitam a ocorrência de mudanças adversas, mantendo os procedimentos no estado desejado (FRAISAT; SAWALHA, 2013).

Como que empresas estão buscando oportunidades no mercado global, a necessidade de se obter um sistema de gestão de qualidade surge diretamente conectada com as potenciais necessidades de satisfação ao cliente (MELLAT-PARAST, 2012). De fato a questão de garantir a qualidade de produtos é uma prática muito perseguida pelas empresas (ÁLVAREZ *et al.*, 2015).

A conformidade do produto pode ser decisiva no momento da compra e neste momento a gestão da qualidade representa um importante papel no processo de manufatura de produtos (LIEPINA; LAPINA; MAZAIS, 2014). A falta efetiva da qualidade aumenta o risco de defeitos e causa sérios danos à performance econômica e operacional das empresas (PEREIRA *et al.*, 2015).

O sistema de gestão de qualidade objetiva conformidade nos produtos e eficiência nos processos de forma contínua, atingindo assim as necessidades dos clientes (JONAS; KOCK; GEMUNDEN, 2013). O compromisso individual do funcionário envolve maior consciência e crença de sua importância, bem como lealdade a todas as práticas que visam melhorar o produto final, isto porque um funcionário comprometido com a qualidade vai desistir de ações que não seguem os seus padrões básicos (ÁLVAREZ *et al.*, 2015). Desse modo, qualidade deve ser responsabilidade de todos dentro de uma empresa (WU; ZHANG, 2013).

O propósito de produzir produtos com qualidade está relacionado a atender as expectativas de clientes e, por consequência, elevar a renda com o aumento de vendas, e reduzir as despesas com a diminuição das taxas de retorno (O'NEILL; SOHAL; TENG, 2015). Por isso, a qualidade é um aspecto crítico a ser considerado e sua negligência pode gerar problemas econômicos a empresas (PEREIRA *et al.*, 2015).

No desenvolvimento do sistema de gestão de qualidade se destaca as questões motivadas por variações culturais e contextuais, e como consequência as melhores práticas industriais tendem a se sobressair de forma a demonstrar uma convergência em relação aos resultados das forças de mercado (MELLAT-PARAST, 2012).

A implementação do sistema de gestão de qualidade em pequenas e/ou novas empresas tendem a seguir estruturas, processos, normas e práticas de organizações renomadas, com o objetivo de obter respostas sobre as incertezas e complexidades do mercado de forma mais ágil e seguindo etapas pré-determinadas (LIEPINA; LAPINA; MAZAIS, 2014).

De acordo com Wu e Zhang (2013), a gestão do sistema de qualidade pode ser dividida em três principais etapas: medir, comparar e controlar. Na primeira etapa são obtidas as especificações necessárias de um produto; na segunda se compara os resultados obtidos com os limites de especificações pré-determinados; e na última etapa o processo é controlado para que se mantenha o produto dentro do desejado.

Para alcançar a qualidade, sugere-se o uso extensivo de três processos gerenciais conhecidos como a Trilogia de Juran: planejamento, controle e melhoria. Na primeira etapa são desenvolvidos processos capazes de produzir produtos que atendam as necessidades dos compradores; na etapa do controle é comparada a performance atual com metas de qualidade; e na última etapa são identificados projetos de melhoria e estabelecidos controles para manter os ganhos (JURAN; GODFREY, 2010).

Características subjetivas, como liderança, valores e cultura voltados para uma gestão estratégica focada na qualidade resultam em processos que venham manufaturar produtos com qualidade (O'NEILL; SOHAL; TENG, 2015). Com o objetivo de manter a estabilidade, os procedimentos de controle de qualidade avaliam o atual desempenho, o compara com as metas, e em caso de necessidade, tomam medidas sobre as divergências (ÁLVAREZ *et al.*, 2015).

Para Mellat-Parast (2012), difundir a cultura da qualidade entre os funcionários e oferecer maiores pesos as especificações dos clientes são de extrema importância para obter confiança e ser bem sucedido no mercado.

A adoção do sistema de gestão da qualidade beneficiará o desempenho de empresas se baseado nos pontos cruciais, produzir com conformidade, focar nas expectativas do cliente, obter o apoio da alta direção (LIEPINA; LAPINA; MAZAIŠ; 2014). De acordo com Fraissat e Fawalha (2013), investir em qualidade é importante em todos os segmentos de mercado, já considerando que isto é um pré-requisito para o sucesso, e não mais um diferencial.

A melhora no desempenho organizacional está envolvida com a qualidade interna, que corresponde ao funcionamento da empresa e a externa, relativa à satisfação dos clientes, e pode levar ao um crescimento das vendas e porcentagem de mercado (MELLAT-PARAST, 2012). Segundo Jonas, Kock e Gemunden (2013), empresas que desenvolvem sistema de gestão de qualidade geram informações importantes que contribuem para o controle, gestão e revisão dos procedimentos para prover melhoria contínua.

Empresas atentas com a qualidade desenvolvem funcionários com alto nível de comprometimento, o que contribui para o maior envolvimento e compreensão de todos para atingir os objetivos propostos (PEREIRA *et al.*, 2015; O'NEILL; SOHAL; TENG, 2015).

Uma das dificuldades encontradas no sistema de gestão de qualidade não está somente no fato de que é necessária uma completa participação dos funcionários, mas também de que estes devem estar tecnicamente preparados e dispostos em contribuir com a empresa (ÁLVAREZ *et al.*, 2015).

Fatores como elevado custo, necessidade de investimento em recursos tecnológicos, treinamento e mão-de-obra, e mudança do paradigma de uma empresa, podem ser considerados resistências à implementação da qualidade (WU; ZHANG, 2013).

Para Liepina, Lapina e Mazais (2014), em razão do fato da qualidade ser subjetiva, entender o seu real significado dentre os diversos consumidores é uma das questões mais difíceis no processo de gerenciamento. Além disso, o fato de que sua abordagem em termos de eficácia pode não ser a mesma em diferentes empresas afetando diretamente a qualidade do produto criando ambientes desfavoráveis a sua gestão (WU; ZHANG, 2013).

Desse modo, a fim de obter o melhor entendimento das dificuldades do gerenciamento da qualidade e da sua real efetividade, Mellat-Parast (2012) sugere uma investigação específica para os diversos segmentos da indústria.

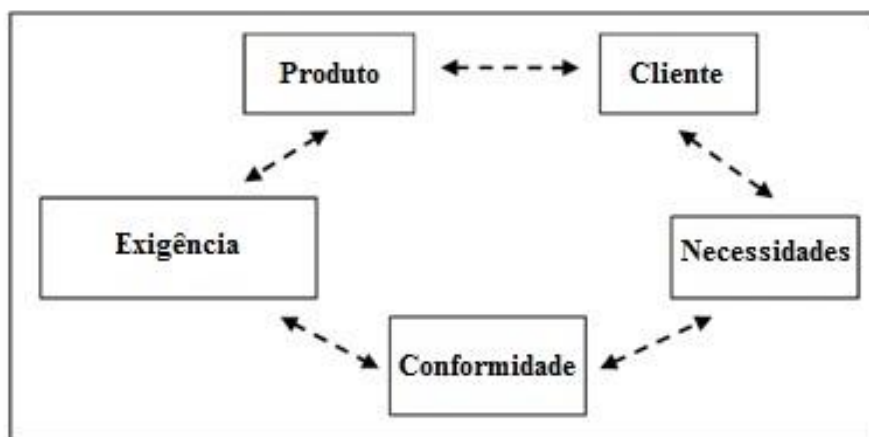
Para a otimização da qualidade o controle estatístico é necessário e geralmente pode ser usado pelas empresas para analisar a capacidade dos processos. A sua importância consiste em avaliar a habilidade da produção em obter performances dentro das especificações (ÁLVAREZ *et al.*, 2015).

Wu e Zhang (2013) sugerem a subdivisão das práticas da gestão da qualidade, sendo estas, exploradoras e exploratórias. Enquanto a primeira visa garantir a consistência e a eficiência dos resultados por meio do controle estatístico do processo, a segunda tem por objetivo explorar o desconhecido identificando novas soluções por intermédio de pesquisa e inovação. No entanto, para uma melhor gestão do sistema de qualidade, ambas as práticas devem existir de maneira sinérgica.

A Figura 1 representa a inter-relação entre cinco termos que descrevem o ciclo da qualidade. Na figura, as expectativas e necessidades de clientes em determinado

produto ou serviço pode ser adquiridos com a conformidade de suas características (LIEPINA; LAPINA; MAZAIS; 2014).

Figura 1 – Inter-relação sobre o conceito de qualidade



Fonte: LIEPINA; LAPINA; MAZAIS, 2014.

2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Os fundamentos da qualidade já estão integrados na administração geral de muitas organizações (SILVA *et al.*, 2013). As ferramentas da qualidade são importantes para operacionalizar a teoria da qualidade, e consequentemente controlar e aumentar a confiabilidade e conformidade de produtos e serviços (HERAS; MARIMON; CASADESÚS, 2011).

Embora a aplicação de ferramentas da qualidade esteja diretamente ligada à melhoria de processos, também se faz necessário um real entendimento sobre os aspectos culturais da qualidade (GILLIES, 2015). A cultura da qualidade é representada por hábitos e crenças da organização, que permitem fornecer produtos e serviços bem-sucedidos a longo prazo (JURAN; GODFREY, 2010).

A vantagem do uso das ferramentas da qualidade não pode ser apenas restrita ao monitoramento do processo, mas também ao reforço do trabalho em equipe, uma vez que para a resolução de problemas é necessária à participação de diversas áreas de uma empresa (SILVA *et al.*, 2013).

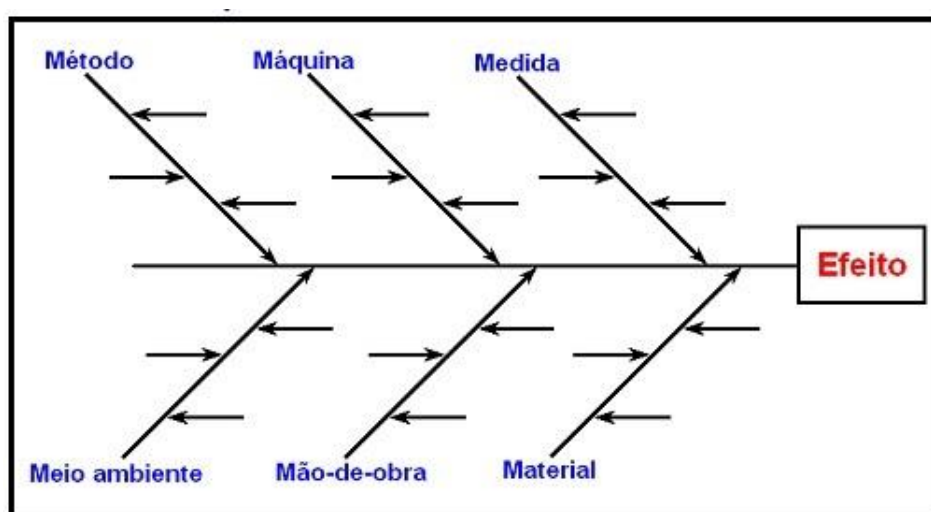
Algumas dificuldades associadas ao uso e aplicação das ferramentas e técnicas da qualidade são: resistência ao uso, treinamento e suporte insuficiente, e manipulação de dados equivocados (GILLIES, 2015).

As ferramentas da qualidade são utilizadas nos sistemas de gestão com a contribuição dos modelos estatísticos que auxiliam na melhoria de serviços e processos (PEREIRA *et al.*, 2015). As sete ferramentas básicas da qualidade permitem identificar e solucionar de forma direta problemas de diversas ordens (TALIB; HAMID; CHIN, 2015).

O Diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa identifica as causas de um determinado evento e verifica potenciais fatores que ocasionam um efeito global (FOTOPOULOS; KAFETZOPOULOS; GOTZAMANI, 2011). Muito comum em projeto de produto e prevenção de defeitos da qualidade, é uma ferramenta que permite a categorização das potenciais causas de um problema, com o objetivo de identificar as suas causas profundas (KLUZ; TRZEPIECINSKI, 2015; LÓPES-TARJUELO *et al.*, 2015).

O diagrama de Ishikawa pode revelar relações-chave entre as diversas variáveis e suas possíveis causas, fornecendo esclarecimentos adicionais sobre o comportamento do processo (COHEN; TIPLICA; KOBİ, 2015). Como mostra a Figura 2, cada causa para a imperfeição é uma fonte de variação proveniente de método, máquina, medida, meio ambiente, mão-de-obra e material (JURAN, 2010).

Figura 2 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: JURAN, 2010.

A folha de verificação é uma forma de documento utilizada para recolher dados em tempo real, no local onde são gerados. O documento é tipicamente um formulário em branco utilizado para uma gravação rápida e fácil das informações desejadas (KAVITHA *et al.*, 2015). Por isso, de acordo com Sarkar, Mukhopadhyay e Ghosh (2013), a principal característica de uma folha de verificação é o fato de que os dados são preenchidos fazendo marcas como "X".

As informações apresentam uma sequência de etapas que é marcada pelo usuário na ordem em que os eventos ocorrem. Os dados podem ser quantitativos ou qualitativos; no entanto, quando a informação é quantitativa, a folha de cheque é chamada de folha de registro (MARTINET *et al.*, 2014). De uma forma geral, as folhas de verificação empregam tipicamente informações que respondem aos Cinco Ws:

Who – Quem preencheu a folha de verificação;

What - O que foi preenchido;

Where – Onde a folha de verificação foi preenchida;

When – Quando ocorreu a coleta de informação;

Why – Por que os dados foram coletados.

A Carta de controle pode ser considerada a principal ferramenta do Controle Estatístico de Processo, uma vez que permite em tempo real compreensão intuitiva de processos quantificáveis com um resultado mensurável (PIMENTEL; BARRUETO JUNIOR, 2015). O trabalho do gráfico de controle é determinar se o processo está sob controle, portanto, é previsível ou imprevisível.

Área importante na pesquisa de controle da qualidade, os gráficos de controle monitoraram o número de itens não conformes nos processos (BRACKE; BACKES, 2015). Diferentes tipos de gráfico de controle foram desenvolvidos para avaliar a estabilidade dos processos (JOZANI; MIRKAMALI, 2011).

O gráfico de controle típico é composto pelas linhas de limite de controle superior (LCS) e inferior (LCI) que representam, respectivamente, três desvios padrão acima e abaixo da linha de controle média (LM) (LÓPES-TARJUELO *et al.*, 2015). Lotes de produtos são medidos consecutivamente ao longo do tempo, e para cada amostra um ponto é desenhado no gráfico de controle, onde $\bar{\bar{X}}$ representa a média das médias amostrais e $\bar{R}$ a média das amplitudes amostrais:

$$LM = \bar{\bar{X}} \quad (1)$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \quad (2)$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} \quad (3)$$

Se o ponto está entre o LCS e LCI, assume-se que o processo está controlado; caso contrário, o processo é declarado fora de controle e a linha de produção deve ser interrompida para remoção das causas atribuíveis a variação (PIMENTEL; BARRUETO JUNIOR, 2015).

Dentro do controle estatístico do processo um poderoso método usado para monitorar os processos de produção é a análise de capacidade, que utiliza os gráficos para obter informações sobre a estabilidade do processo (ÁLVARES *et al.*, 2015).

A determinação de índices de capacidade pode ser utilizada em conjunto com o projeto de experimento, que permite a visualização de informações adicionais em relação ao processo, como por exemplo, risco de fabricação e probabilidade de falha (BRACKE; BACKES, 2015).

Seu objetivo é detectar e avaliar a capacidade de um processo em produzir produtos dentro dos limites de especificação, os quais são definidos pelo limite superior (LSE) e inferior de especificação (LIE) (LÓPES-TARJUELO *et al.*, 2015). Assim, o indicador C_p mede a habilidade do processo em manufaturar produtos de acordo com especificações pré-estabelecidas:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (4)$$

Usada para expressar se a variação do processo é acomodada dentro do limite superior e inferior de especificação, o índice C_p não leva em consideração a centralização do processo em relação ao valor alvo (BRACKE; BACKES, 2015; KLUZ; TRZEPIECINSKI, 2015). Para isso, deve ser analisado o índice C_{pk} :

$$C_{pk} = \frac{\min [(LSE - \bar{\bar{X}}), (\bar{\bar{X}} - LIE)]}{3\sigma} \quad (5)$$

É importante ressaltar que o cálculo de C_p e C_{pk} é aplicável somente em dados que sigam a distribuição normal (KLUZ; TRZEPIECINSKI, 2015; LÓPES-TARJUELO *et al.*, 2015).

O histograma representa graficamente a distribuição de dados numéricos e uma estimativa da distribuição de probabilidade de variáveis contínuas (LEME *et al.*, 2015). Os histogramas podem basear-se em frequências relativas que mostram a percentagem de contagens em cada intervalo e as reais referentes ao número de pontuações (AGUIAR; SALOMON; MELLO, 2014).

Desta maneira, o histograma é um método gráfico que mostra a forma de uma distribuição e podem ser usados para entender melhor os valores que ocorrem em determinados conjuntos de dados (ÁLVAREZ *et al.*, 2015). Para entender o método de construção de um histograma deve-se imaginar um conjunto de valores que são espaçados ao longo de uma linha numérica que são divididas em partes igualmente espaçadas (WU; ZHANG, 2013).

O diagrama de Pareto é baseado no princípio de que 80 por cento das consequências são provenientes de 20 por cento das causas (ELBELTAGI; KEMPEN; GARCIA, 2014). Alternativamente para o ambiente industrial isto pode ser declarado que uma minoria de falhas contribui para a maioria dos problemas (TALIB; HAMID; CHIN, 2015).

O diagrama de Pareto é uma ferramenta de controle de qualidade que classifica os dados em ordem decrescente, da maior frequência de ocorrências para a menor (FOTOPOULOS; KAFETZOPOULOS; GOTZAMANI, 2011). De acordo com Sarkar, Mukhopadhyay e Ghosh (2013), sua abordagem é extremamente eficaz no gerenciamento de qualidade e normalmente utilizada na implementação do *Lean Six Sigma* e Projeto de Experimento.

De uma forma geral, a análise de Pareto orienta esforços para melhorar o processo (SARKAR; MUKHOPADHYAY; GHOSH, 2013). Uma vez que permite fácil visualização a análise de Pareto é amplamente utilizada nas tomadas de decisão para determinar as principais causas de problemas (ELBELTAGI; KEMPEN; GARCIA, 2014). No entanto, sua limitação está em não considerar a inter-relação entre os erros (FOTOPOULOS; KAFETZOPOULOS; GOTZAMANI, 2011).

O gráfico de dispersão é um tipo de diagrama matemático que usa a coordenada cartesiana para exibir valores para duas variáveis de um determinado conjunto de dados. Isso possibilita uma imagem visual da correlação entre as variáveis, e auxilia na interpretação do coeficiente de correlação e modelo de regressão (O'NEILL; SOHAL; TENG, 2015).

Usualmente a análise do gráfico de dispersão permite a verificação da existência de uma relação entre duas variáveis de natureza quantitativa. No gráfico de dispersão, os dados são apresentados em forma de conjunto de pontos no qual cada um tem o valor da sua variável na posição do eixo horizontal e o valor da outra como determinante para a posição do eixo vertical (PEREIRA *et al.*, 2015).

A estratificação é uma técnica utilizada em combinação com outras ferramentas de análise de dados (LIEPINA; LAPINA; MAZAIŠ; 2014). Considerada uma das sete ferramentas básicas da qualidade, sua utilização tem como objetivo separar dados de modo a expor padrões existentes em busca de oportunidades de melhoria (JONAS; KOCK; GEMUNDEN, 2013).

Quando dados de fontes distintas são agrupados fica difícil observar um padrão de comportamento, com isso, a técnica da estratificação separa os dados de modo que importantes conclusões possam ser inferidas (LEME *et al.*, 2015). Em razão deste fato, Farooq *et al.* (2015) sugere o uso da estratificação quando os dados são coletados sob diferentes condições tais como, turnos de trabalho, dias da semana, fornecedores, dentre outros.

Além das sete ferramentas básicas da qualidade, a ferramenta da qualidade avançada FMEA, análise de modo e efeito de falha, é importante na fase pré-experimental de um projeto de experimento para identificar os principais fatores a serem analisados (FAROOQ *et al.*, 2014). A vantagem do FMEA perante outras ferramentas da qualidade nesta etapa do *design* de experimento é a identificação da seriedade dos efeitos, como podem ser detectados e com quais frequências ocorrem (FAHMY *et al.*, 2012).

O objetivo do FMEA é investigar causas e subsequentes efeitos de potenciais modos de falhas para garantir a qualidade e confiabilidade de um produto ou processo. Por isso, sua utilização é importante, especialmente nas primeiras fases de desenvolvimento de projetos de melhoria (AGUIAR; SALOMON; MELLO, 2014).

De acordo com Paciarotti, Mazzuto e D'Ettorre (2013), sua execução é crucial para reduzir e até eliminar necessidades de ações corretivas futuras, minimizando o custo de uma tardia identificação de falta de cumprimento da qualidade.

A análise do risco de diferentes modos de falha utilizando o FMEA é realizada por meio do cálculo do RPN, número de prioridade de risco, representado pela Figura 3 (PACIAROTTI; MAZZUTO; D'ETTORRE, 2013; MANDAL; MAITI, 2014). Quanto maior esse valor obtido com o produto de três componentes, sendo estes, probabilidade de ocorrência de um modo de falha (P) a gravidade do modo de falha (S) e a detecção do modo de falha (D), maior é o risco associado com o modo de falha correspondente (MANDAL; MAITI, 2014).

Figura 3 – Análise de Modo e Efeito de Falha

Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial - FMEA DE PROCESSO													
Item / função	Modo de falha potencial	Efeitos potenciais da falha	Severidade	Causa e mecanismos potenciais de falha	Ocorrência	Controle atuais de projeto	Detecção	N.p.a.	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultados da ação		
											Ações tomadas	severidade	N.p.a.

Fonte: Juran, 2011.

2.3 PROJETO DE EXPERIMENTO

Projeto de experimento ou *design of experiments*, conhecido pela sigla DoE, é um rigoroso método estatístico utilizado para determinar os efeitos de variáveis significativas sobre uma dada resposta em um sistema (SCHNEIDERMAN *et al.*, 2015).

As primeiras abordagens de projeto de experimentos foram originadas por intermédio do trabalho de Ronald Fisher que lidava com aplicações industriais no início do século 20 (LEME *et al.*, 2014). Com o passar dos anos e principalmente em razão do trabalho de Taguchi, o DoE foi se desenvolvendo com o propósito de melhorar a eficácia do processo da qualidade do produto por meio da promoção da importância de tornar processos de manufatura mais robustos (MONTGOMERY, 2013).

O experimento é como um teste ou uma série de performances nas quais são feitas mudanças intencionais nas variáveis de entrada de um processo com o objetivo de identificar como essas mudanças influenciam a variável resposta (KAVITHA *et al.*, 2015). Para Buchert *et al.* (2015), o termo experimento é definido como um procedimento sistemático sob condições controladas que testam ou determinam uma hipótese particular alterando suas variáveis de entrada.

Nas análises de DoE o experimentador pode estar interessado em diversos fatores que venham influenciar a resposta, sua aplicação é ampla e permite ser utilizada em ciências naturais, sociais e de engenharia (MARTINET *et al.*, 2014).

Para Farooq *et al.* (2015), o DoE visa estudar o desempenho dos procedimentos e sistemas por intermédio da melhor compreensão do comportamento dos fatores, bem como o seu impacto nas características da qualidade do produto e do processo.

O Projeto de experimento é um conjunto homogêneo de ferramentas e métodos estatísticos que são destinados a elaborar e analisar as relações entre as respostas em

função de seus fatores (MARTINET *et al.*, 2014). Pode ser entendido como uma coleção de técnicas estatísticas capaz de gerar e analisar projetos experimentais e melhorar um processo de manufatura, com a variação simultânea de fatores (LEME *et al.*, 2015).

O DoE pode ser considerado como uma estratégia que planeja, executa, analisa e interpreta experimentos com a intenção de gerar conclusões que possam ser obtidas e validadas de forma eficiente e econômica (BABANOVA *et al.*, 2014).

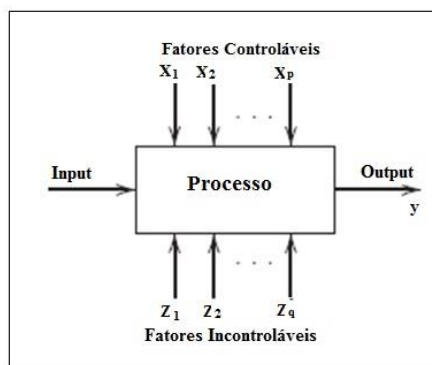
Para melhor entendimento dos produtos, processos e serviços as organizações podem utilizar o projeto de experimento para otimizar suas atividades relativas a qualidade (ANTONY; SIVANATHAN; GIJO, 2014).

O DoE pode ser empregado com o intuito de aumentar a performance de um processo de modo a quantificar a relação entre os parâmetros de entrada com o resultado desejado (KAVITHA *et al.*, 2015; COHEN; TIPLICA; KOBİ, 2015), podendo ser usado tanto no processo de desenvolvimento de um novo produto, como para obter robustez em um procedimento já existente (COHEN; TIPLICA; KOBİ, 2015).

Nos últimos anos as indústrias têm aplicado com sucesso o DoE para melhorar o desempenho do processo, reduzir sua variabilidade e, conseqüentemente custos operacionais (FAROOQ *et al.*, 2015); exemplos de aplicação podem ser encontrados na produção, gestão de operação, fabricação, controle de qualidade, e em aplicações relacionadas à análise de simulação (LEME *et al.*, 2014).

Os experimentos são usados para estudar o desempenho de processos e sistemas e podem ser representados esquematicamente pela Figura 4 onde variáveis analisadas são chamadas de fatores e valores obtidos com a experimentação são conhecidos por resposta (BABANOVA *et al.*, 2014).

Figura 4 - Modo geral de um processo



Fonte: MONTGOMERY, 2013

Pode-se visualizar o processo de experimentação como uma combinação de elementos controláveis e/ou incontroláveis tais como, operações, máquinas, métodos, e pessoas que transformam matéria prima em produtos com valor agregado (MONTGOMERY, 2013).

Em outras palavras, experimentos são conduzidos para determinar e definir os fatores controláveis que asseguram respostas perto do valor alvo (FAROOQ *et al.*, 2015). De uma forma geral mostram relações entre variáveis em níveis de modelos empíricos e são usados para entender o que acontece em um processo variando-se os distintos fatores de entrada (KHANNA; DAVIM, 2015; BUCHERT *et al.*, 2015).

O primeiro passo na aplicação do DoE é estabelecer o problema, identificando as hipóteses que serão testadas, e determinando os principais fatores que influenciam o processo, bem como os seus níveis de variação (KAVITHA *et al.*, 2015). Assim, ao analisar um procedimento avaliam-se quais os elementos geram significativos impactos sobre a resposta, e definam-se quais os níveis de *inputs* atinge o resultado desejado (SCHNEIDERMAN *et al.*, 2015).

De acordo com Farooq *et al.* (2015), ferramentas da qualidade tais como diagrama de causa e efeito, e análise de modo e efeito de falha (FMEA) devem ser utilizados para a determinação de potenciais fatores ao experimento. Em outras palavras, na fase de planejamento pré-experimental é realizada a definição dos objetivos da experiência, a seleção das variáveis de respostas, os fatores, e os seus níveis (KHANNA; DAVIM, *et al.*, 2015).

A fase de execução compreende a performance do experimento partindo da coleta dos dados, nesta etapa os ensaios são realizados e a variável resposta é medida para diferentes variações dos níveis dos fatores (LEME *et al.*, 2014). Inúmeras repetições de combinações com os níveis dos fatores são feitas para obter uma estimativa de erros experimentais (MARTINET *et al.*, 2014).

O projeto de experimento fornece uma abordagem estruturada e organizada de modo a conduzir e analisar experimentos com o objetivo de avaliar os fatores que afetam o sistema (BABANOVA *et al.*, 2014). Se faz necessária a utilização de softwares específicos, análises estatísticas e técnicas que visam otimizar o processo buscando um melhor entendimento dos níveis dos fatores com relação a variável resposta (BUCHER *et al.*, 2015).

Técnica de bloqueio pode ser usada para eliminar ou reduzir a variabilidade relacionada a elementos de perturbação como, operador, temperatura e máquinas, que

muitas vezes não são relevantes ao experimento, mas influenciam a veracidade dos resultados (MONTGOMERY, 2013). É importante ressaltar que para Cohen, Tiplica e Kobi (2015), a aplicação de técnicas de experimentação não elimina totalmente a necessidade de inspeção e controle de qualidade.

Em geral, a metodologia do DoE visa planejar experimentos de maneira que os dados coletados conduzam a interessantes conclusões, utilizando o menor número de repetições (LEME *et al.*, 2015). Análise de variância (ANOVA) e ferramentas gráficas são utilizadas para a compreensão e análise da relação entre os principais níveis de fatores que influenciam a variável resposta (ANTONY; SIVANATHAN; GIJO, 2014).

Um experimento estrategicamente planejado e bem-executado pode fornecer uma grande quantidade de informações sobre o efeito da variável resposta em função de um ou mais fatores (BABANOVA *et al.*, 2014). Conclusões e recomendações sobre o processo podem ser feitas por meio das análises dos seus resultados (SCHNEIDERMAN *et al.*, 2015).

Uma vez que o projeto de experimento é responsável pelo melhor entendimento dos processos, os seus principais benefícios estão relacionados com as melhoras de qualidade do produto (COHEN; TIPLICA; KOBİ, 2015).

De acordo com Schneiderman *et al.* (2015), a produção poderá se tornar mais eficaz, com o uso dos experimentos para alcançar maiores receitas. A experimentação tem papel relevante quando ligada as atividades de desenvolvimento do produto, métodos de fabricação e projetos de melhoria (LEME *et al.*, 2014).

A metodologia do DoE também pode ser aplicada fora do ambiente de manufatura, como por exemplo, no âmbito de serviços (ANTONY; SIVANATHAN; GIJO, 2014). Sua aplicação pode resultar em melhores rendimentos do processo por meio da redução da sua variabilidade, e consequentemente minimização de custos gerais em razão de menos desperdícios e retrabalhos (FAROOQ *et al.*, 2015).

Desta maneira, a utilização da experimentação se mostra eficaz no que diz respeito as melhoras em desempenho de processos em decorrência da melhor percepção da relação dos fatores analisados com a variável resposta (COHEN; TIPLICA; KOBİ, 2015).

Apesar do DoE permitir a análise em programas de *software*, é importante para uma aplicação adequada, compreender de maneira concisa os seus conceitos e princípios (MARTINET *et al.*, 2014). É necessário que o experimentador tenha um profundo conhecimento técnico sobre o processo com experiência prática e

entendimento teórico para determinar corretamente os parâmetros da experimentação e analisar seus resultados (BUCHERT *et al.*, 2015).

A forma como os dados do experimento são obtidos é de extrema importância, pois os resultados e conclusões dependem da acuracidade dessas informações (KHANNA; DAVIM, 2015). A escolha dos fatores e seus níveis são de extrema importância, pois tem capacidade de anular a obtenção de conclusões plausíveis (FAROOQ *et al.*, 2015). Desse modo, definir os parâmetros corretamente contribui para a determinação da capacidade de um produto cumprir o seu uso (BUCHERT *et al.*, 2015).

Casos em que a coleta de dados é restrita, por exemplo, na existência da necessidade de ensaios destrutivos, destaca-se uma limitação à aplicação do projeto de experimento em razão do elevado custo de se realizar inúmeras repetições de ensaio (ANTONY; SIVANATHAN; GIJO, 2014).

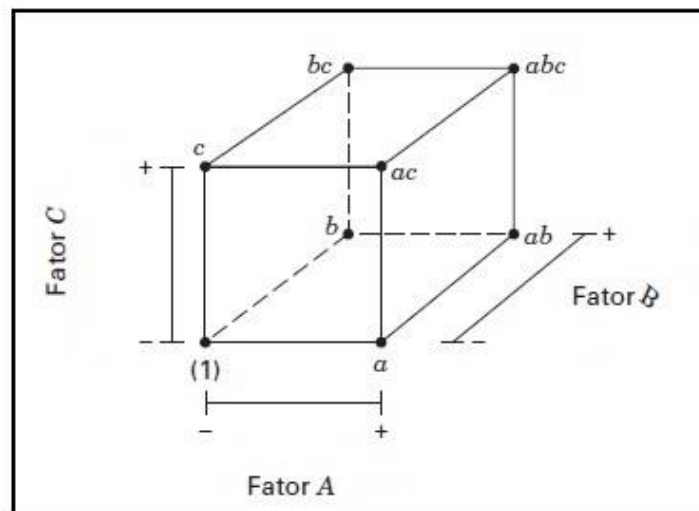
Para Sebastien *et al.* (2014), a principal limitação da aplicação do projeto de experimento está nos elevados custos em adotar essa iniciativa que exige assíduos acompanhamento. Além disso, a necessidade da utilização de *software* e o treinamento de funcionários são outros fatores limitantes à implementação (KAVITHA *et al.*, 2015).

Existem diversos tipos de abordagem em projeto de experimentos: OFAT (*one-factor-at-a-time*), fatorial 2^k , fracionário 2^k , dentre outros (COHEN; TIPLICA; KOBI, 2015). No entanto, dado que o método OFAT consiste em variar sucessivamente cada fator mantendo os outros constantes a um nível base, a desvantagem em não considerar possibilidades de interação entre os elementos torna-se evidente (KHANNA; DAVIM, 2015).

A abordagem correta para analisar interações entre fatores são os experimentos fatoriais e fracionários, na qual estes são variados em conjunto, em vez de um de cada vez (MONTGOMERY, 2013).

No método fatorial 2^k , onde K representa o número de fatores com apenas dois níveis, assume-se que a resposta é aproximadamente linear ao longo dos níveis selecionados (MONTGOMERY, 2013). De acordo com Tomasz *et al.* (2015), este método é vantajoso quando se está nas fases iniciais do projeto e a investigação de diversos elementos se faz necessária.

A Figura 5 representa a visão geométrica das oito possíveis combinações quando se tem um experimento 2^3 com três fatores e cada um deles com dois níveis (MONTGOMERY, 2013).

Figura 5 – Design do Fatorial 2^3 

Fonte: MONTGOMERY, 2013.

O método fracionário 2^k é utilizado quando por motivos econômicos ou de projeto se deseja diminuir o número de ensaios em cada repetição (MONTGOMERY, 2013). Fatores fracionários proporcionam uma forma econômica de obter boas informações sobre seus efeitos, bem como suas interações (FAROOQ *et al.*, 2015).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para realização deste trabalho foi utilizada pesquisa quantitativa com o objetivo de mensurar as variáveis de pesquisa que resultaram em um projeto de experimento com os dados de propriedades mecânicas do alumínio de uma empresa do segmento de laminados de alumínio.

A abordagem quantitativa permite testar as hipóteses levantadas, e operacionalizar conceitos variáveis e calculáveis contidos nelas. Os dados são coletados e posteriormente analisados, normalmente com o uso de ferramentas estatísticas (CAUCHICK *et al.*, 2011). Para este estudo quantitativo o método adotado é o experimento, pois possibilita a manipulação das variáveis independentes, determinando níveis para elas, e posteriormente observando o resultado da variável resposta (CAUCHICK *et al.*, 2011).

O experimento demonstra a relação de causa e efeito, e esta característica é fundamental para a ideia de controle sobre as variáveis, sendo permissível experimentar alternativas e verificar o seu efeito sobre a variável dependente.

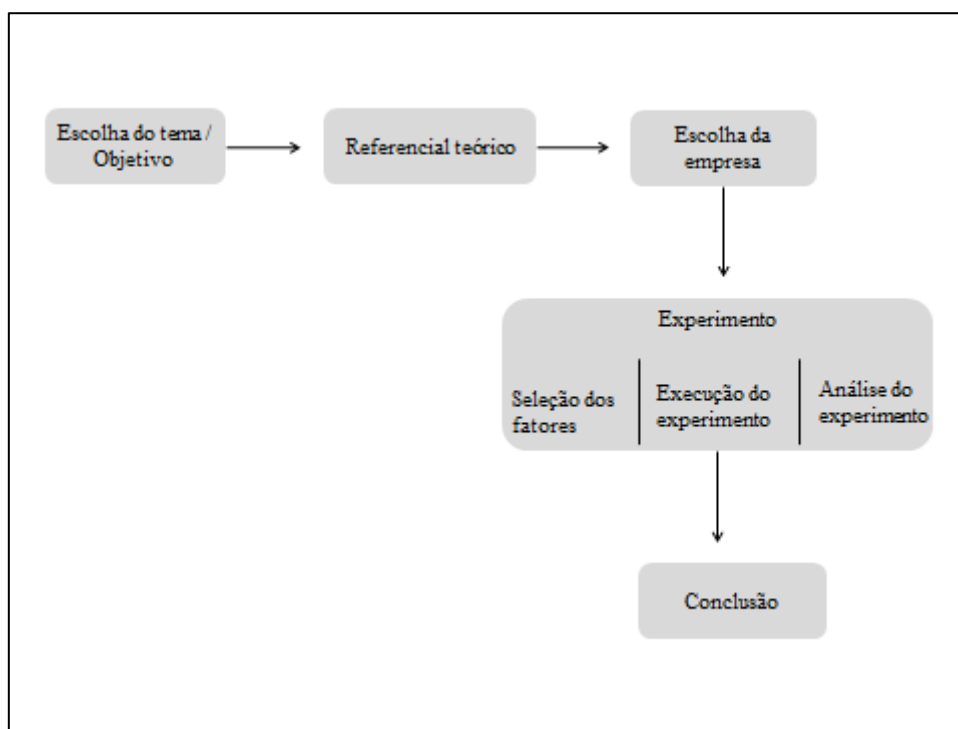
O projeto de experimento dá ênfase na identificação de correlações entre potenciais fatores e consequentemente possíveis oportunidades de melhoria no processo de produção de laminados de alumínio. Assim, o estudo buscou analisar esses fatores e identificar quais impactam na variável resposta, espessura das bobinas de alumínio, e consequentemente, na satisfação das necessidades dos clientes.

Para o projeto de experimento foram selecionados dois fatores, sendo estes limites de resistência e de escoamento com dois níveis, acima e abaixo da média das bobinas produzidas no mês de Abril de 2015. Os fatores foram determinados por meio da aplicação da ferramenta de estatística avançada FMEA (Análise de modo e efeito de falha). Existe um bloqueio neste estudo referente a máquinas refiladoras nas quais as bobinas são refiladas e embobinadas.

As informações para o desenvolvimento do experimento foram obtidas em toda a população de bobinas manufaturadas no mês de Abril de 2015. Os dados coletados por intermédio do ensaio de tração têm por finalidade o controle de qualidade e foram fornecidos pela empresa responsável pela a experimentação.

Voltado para fins estatísticos, o *software* Minitab foi utilizado neste estudo para a aplicação de funções específicas do projeto de experimento e de ferramentas da qualidade. A Figura 6 representa esquematicamente as etapas do presente estudo.

Figura 6 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

4. EXPERIMENTO

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A obtenção do alumínio pode ser de forma primária, o qual é produzido a partir da bauxita ou por meio de sua reciclagem, modo no qual a energia elétrica utilizada no processo é economizada.

O processo produtivo do alumínio reciclado consiste basicamente na produção de lingotes que serão laminados com o objetivo de formar bobinas. A produção é altamente tecnológica e para a obtenção do produto final existem diversos sub processos.

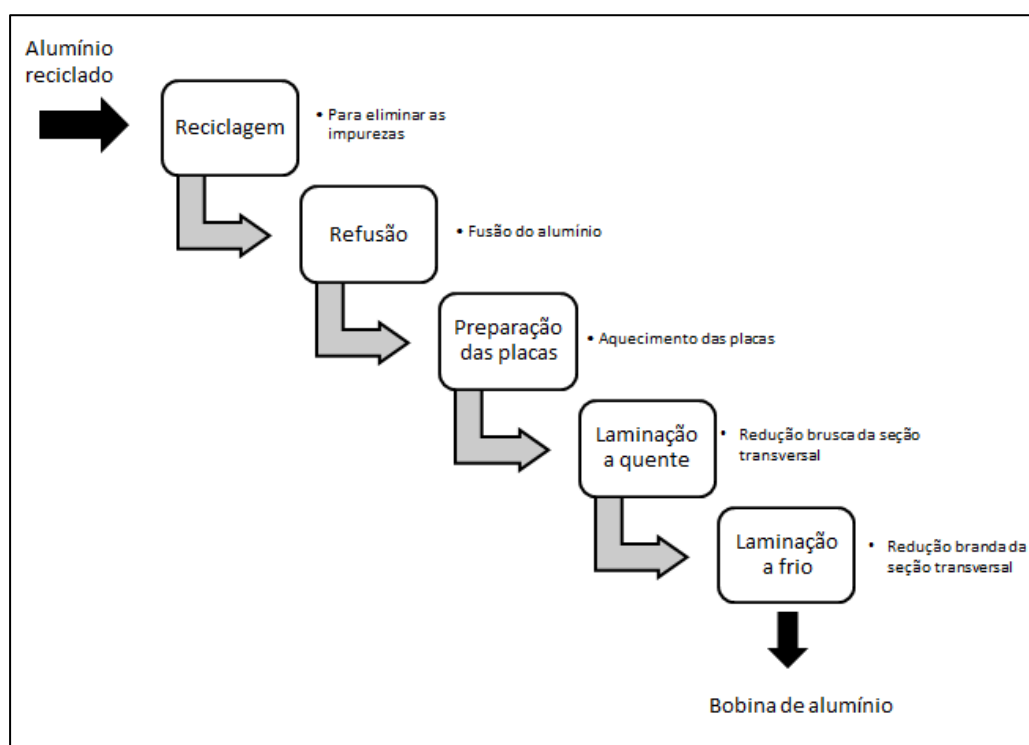
Inicialmente, na reciclagem o alumínio reciclado é triturado e tem todas as suas impurezas eliminadas. Seguindo para a etapa de refusão, o alumínio passa por diversos fornos para que se concretize a sua fusão e a verificação das suas propriedades químicas. Por meio de calhas o alumínio líquido chega até os filtros onde são vasados em grandes moldes para a formação de lingotes retangulares de alumínio.

Na etapa seguinte, os lingotes são preparados para a laminação a quente e passam por faceadeiras, com o objetivo de usinar a superfície da placa eliminando impurezas provenientes do processo de fusão, e fornos para elevar a temperatura do material. Na laminação a quente, etapa na qual as placas são deslocadas entre cilindros em temperatura igual a de recristalização do alumínio, os lingotes sofrem grandes reduções em suas seções transversais e são posteriormente embobinados.

A última etapa da manufatura do alumínio é a laminação a frio, onde ocorre a deformação plástica do material. As bobinas oriundas da laminação a quente são laminadas de maneira a sofrer branda redução em suas seções transversais e adequação aos requisitos finais de clientes.

A Figura 7 representa esquematicamente o processo de produção do alumínio por meio da reciclagem.

Figura 7 – Processo de Produção do Alumínio



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

4.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O alumínio é considerado um dos materiais mais versáteis utilizados na engenharia, em razão da sua condutividade térmica e elétrica, baixo peso específico e alta resistência à corrosão. O alumínio aceita uma grande variedade de acabamentos superficiais e pode ser 100% reciclado (HIRSCH, 2014).

Dentre as características finais da bobina de alumínio sua espessura é de grande importância para os clientes pelo fato de estar diretamente ligada com a performance das linhas de produção, sendo variações de espessuras bruscas causadoras de uma produção instável ou até mesmo paradas de produção.

A Tabela 1 representa esquematicamente em média, como varia a seção transversal de entrada e saída das bobinas de alumínio em cada etapa do processo de laminação.

Tabela 1 – Variação da Espessura

Tabela 1	Espessura	
Etapa:	Entrada	Saída
Laminação a Quente	600mm	2mm
Laminação a Frio	2mm	0,26mm

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

Diversos fatores podem estar relacionados com a espessura final das bobinas de alumínio:

- Limite de Escoamento: Representa a tensão máxima que o material suporta no regime elástico de deformação.
- Limite de Resistência: Representa o ponto máximo da curva tensão-deformação e indica o início do processo de empescoçamento em que a amostra começa a ter sua área de seção transversal reduzida.
- Alongamento: Representa a capacidade do material em se alongar até a ruptura.
- Earing: Representa a caracterização da orelha, ou seja, como o material vai se comportar ao ser conformado.

4.3 FMEA

A utilização da ferramenta da qualidade FMEA (Análise de modo e efeito de falha) é importante para a determinação dos fatores com maior risco associado ao modo de falha.

Tabela 2 – Adaptação da aplicação do FMEA

Função	Ocorrência (P)	Gravidade (S)	Detecção (D)	RPN
Limite de Resistência	4	5	2	40
Limite de Escoamento	3	5	2	30
Alongamento	2	3	3	18
Earing	3	3	3	27

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

Analizando a Tabela 2, percebe-se que devido ao elevado valor do RPN, as variáveis mais relacionadas com a variação da seção transversal das bobinas de alumínio são o limite de resistência e o limite de escoamento.

4.4 COLETA DE DADOS

Os dados para este estudo foram coletados em uma empresa multinacional de laminados de alumínio que detém maior representatividade no mercado Sul-americano. Foram utilizadas informações referentes as 355 bobinas produzidas no mês de Abril de 2015.

Como parte do controle de qualidade da empresa todas as bobinas tem retirada uma pequena amostra para a realização de ensaios de tração. Em ensaios de tração corpos de prova são submetidos a um esforço que tende a alongá-lo até a ruptura. São por meio desses ensaios que são obtidos os limites de escoamento e resistência do alumínio. A aprovação das bobinas nos testes de tração realizados em laboratório dentro da empresa é necessária para a validação do produto e posterior envio aos clientes.

As informações obtidas com os ensaios de tração são armazenadas em um sistema de banco de dados e foram consultadas para a realização deste estudo.

4.5 EXPERIMENTAÇÃO

A variável resposta deste estudo é a espessura de bobinas de alumínio. Os dois fatores utilizados nesse estudo para o projeto de experimento são limite de escoamento e limite de resistência. Ambos os fatores apresentam dois níveis, acima e abaixo da média de todas as bobinas manufaturadas no mês de Abril de 2015, sendo essas 30.5 Kgf/mm² para limite de resistência e 28.0Kgf/mm² para limite de escoamento. Foi utilizada a técnica de bloqueio para eliminar a variabilidade das duas máquinas refiladoras RM2 e RM4 responsáveis pelo embobinamento do produto final. As informações referentes às bobinas produzidas em Abril de 2015 que foram utilizadas para este estudo se encontram no Anexo B deste trabalho.

Em suma, a Tabela 3 mostra as informações deste projeto de experimento. Sua interpretação pode permitir que decisões sejam tomadas redirecionando bobinas de alumínio para processos e ou máquinas que melhores se adequam a ordem dos clientes.

Tabela 3 – Informações do Projeto de Experimento

Variável Resposta:	
Espessura das bobinas de alumínio [mm]	
Fatores:	Níveis:
1 - Limite de Escoamento [Kgf/mm ²]	LE - ACIMA e LE - ABAIXO
2 - Limite de Resistência [Kgf/mm ²]	LR - ACIMA e LR - ABAIXO
Bloqueio:	
Máquinas Refiladoras	RM2 e RM4

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO

4.6.1 Teste Anderson-Darling

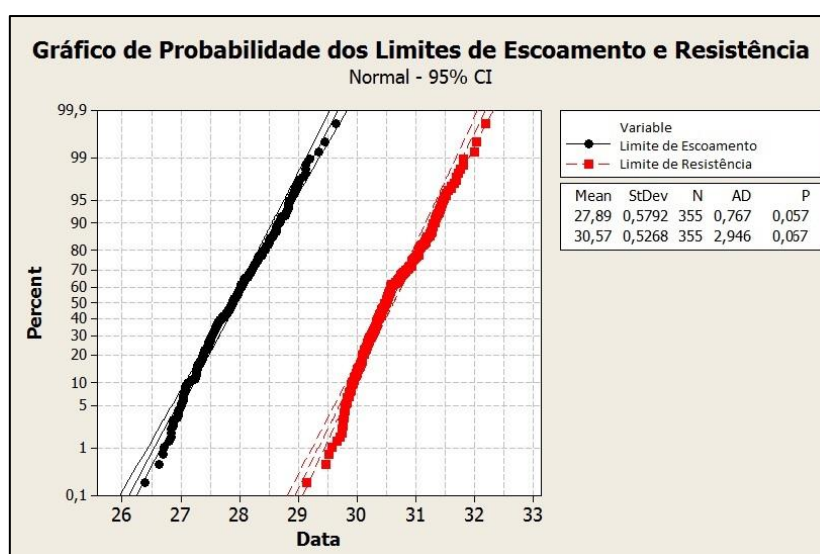
O primeiro passo em um projeto de experimento é determinar se as informações coletadas seguem a distribuição normal, ou seja, se as considerações são satisfeitas e não violadas.

Para este estudo, o teste de hipótese de Anderson-Darling determina se os fatores analisados seguem a distribuição normal com nível de confiança igual a 95%:

H_0 : Dados seguem distribuição normal com CL de 95%

H_1 : Dados não seguem distribuição normal com CL de 95%

Gráfico 1 – Teste Anderson-Darling



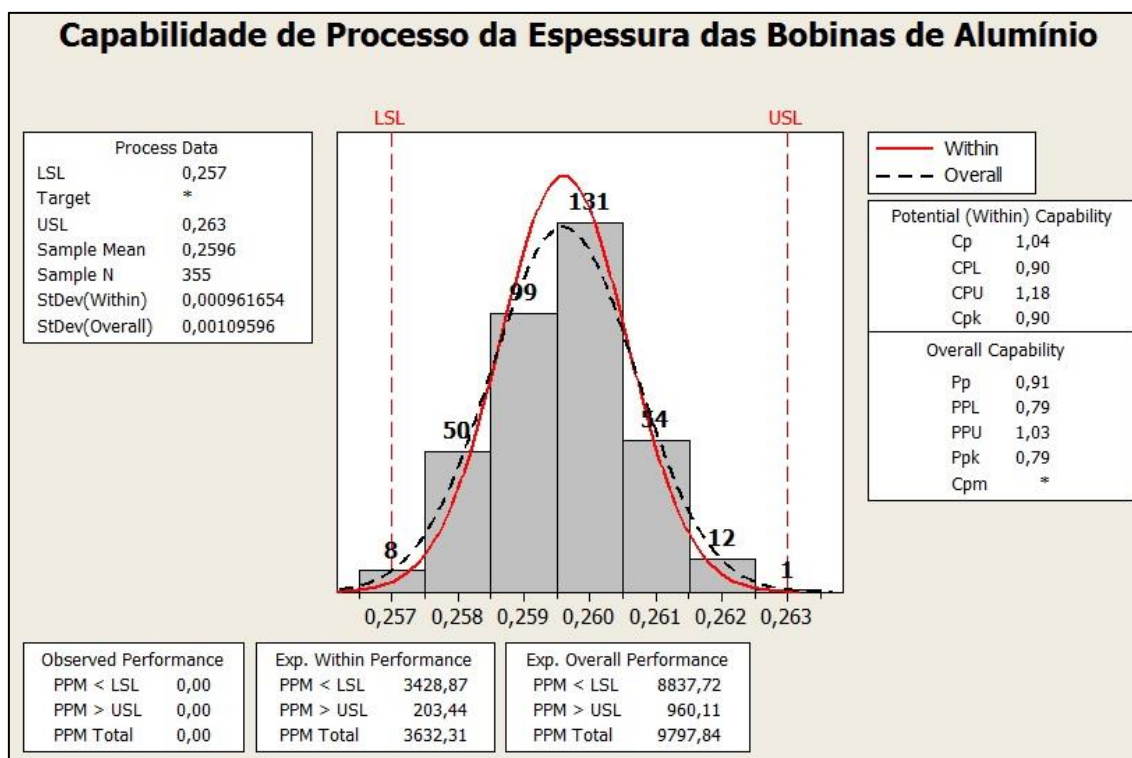
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

No Gráfico 1, os valores-p para as variáveis limite de escoamento e limite de resistência são respectivamente 0,057 e 0,067. Como são valores maiores que α ($\alpha = 0.05$), se aceita a hipótese H_0 . Assim, pode-se afirmar que os fatores desse experimento seguem distribuição normal. Fato que também pode ser observado pela reta combinação dos pontos pretos e vermelhos.

4.6.2 Capabilidade de Processo

Complementar ao projeto de experimento, os índices de capacidade são importantes para a detecção e avaliação da capacidade de processos em desempenhar suas funções nas condições de trabalho, dentro dos limites de especificação.

Gráfico 2 – Capabilidade de Processo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

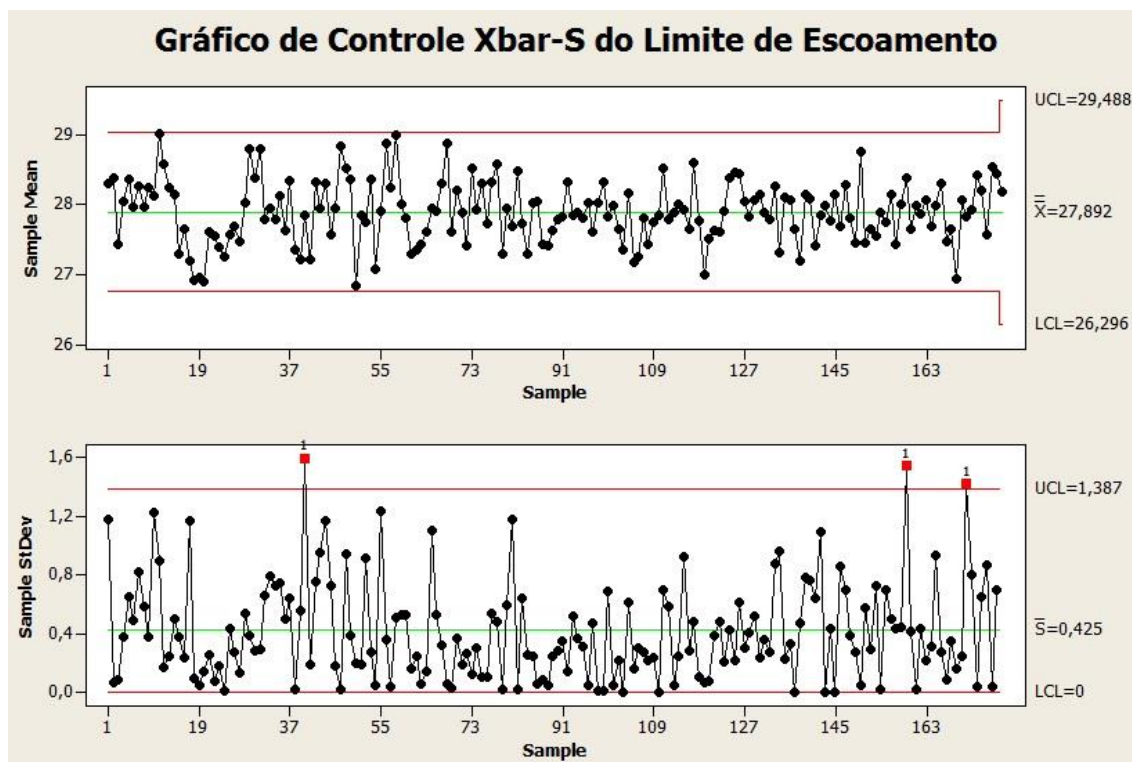
Por meio do gráfico de capacidade da espessura das bobinas de alumínio, é possível obter uma visão geral de como se comporta a espessura das bobinas de alumínio produzidas em Abril de 2015 dentro do limite inferior de especificação, 0,257mm, e do limite superior de especificação, 0,263mm.

Mediante a interpretação do histograma e distribuição normal, percebe-se um deslocamento da curva normal para a esquerda representando uma maior quantidade de bobinas com valores abaixo da média de 0,260mm.

Analizando o Gráfico 2, também é possível identificar que como os índices de capacidade Cp e Cpk são respectivamente iguais a 1,04 e 0,90, o processo está sob controle. O índice de capacidade potencial do processo, Cp, mede a habilidade do processo em manufaturar produtos de acordo com as especificações. Já o índice de capacidade nominal do processo, Cpk representa a centralização dos dados em relação ao valor médio. Assim, o fato de o índice Cpk ser menor que o Cp indica que os valores estão agrupados dentro dos limites de especificação, porém não estão estritamente perto do valor alvo de 0,260mm.

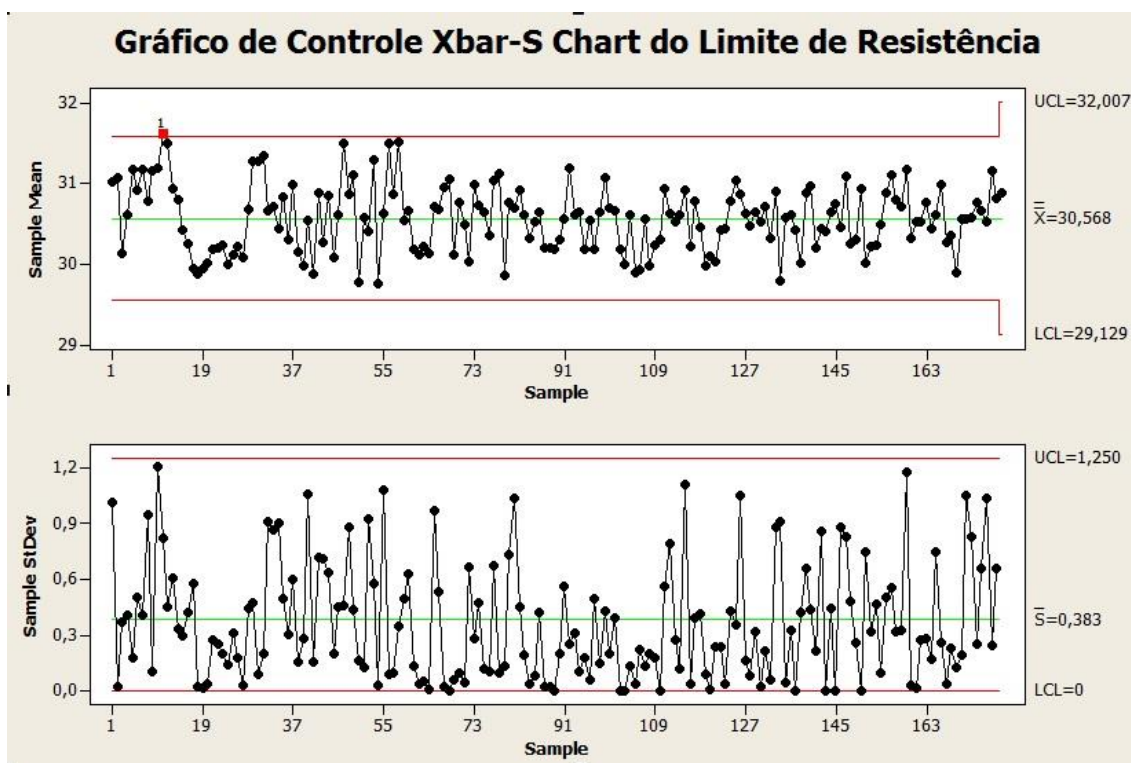
4.6.3 Gráficos de Controle

Gráfico 3 – Gráfico de Controle do Limite de Escoamento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

Gráfico 4 – Gráfico de Controle do Limite de Resistência



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

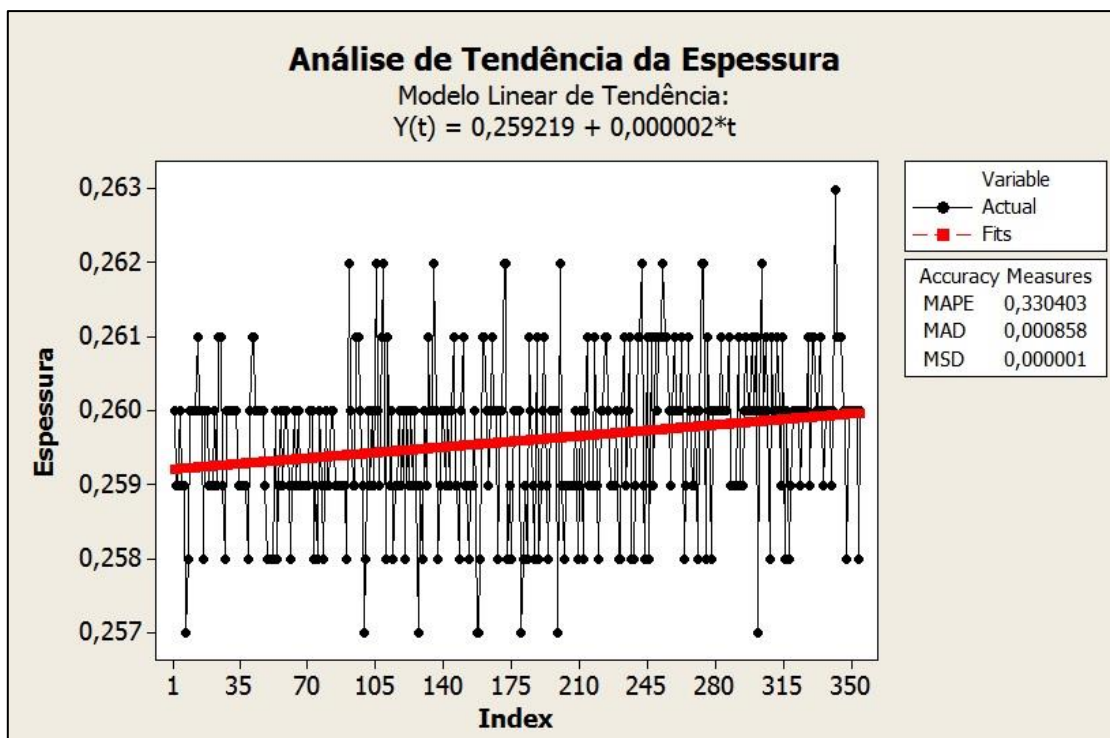
O Gráfico 3 exibe os limites de controle superior e inferior para a média e o desvio padrão do limite de escoamento do alumínio em subgrupos de dois valores. Por meio da análise do gráfico da média é possível observar como o limite de escoamento se comporta ao longo das bobinas utilizadas para este estudo e que não existe nenhum subgrupo com valor acima do limite superior de controle, que é igual a 29,448 Kgf/mm². Com relação ao desvio padrão percebe-se a presença de valores acima do limite superior de controle, que é igual a 1,387Kgf/mm².

O Gráfico 4 representa a mesma informação que o Gráfico 3, mas com relação ao limite de resistência do alumínio. Analisa-se que seus valores se comportam de maneira instável, tendo um subgrupo de duas bobinas acima do limite superior de controle, que é igual a 32,007Kgf/mm². Com relação ao desvio padrão também se percebe a presença de elevados valores, que demonstra certa instabilidade no processo de manufatura das bobinas de alumínio.

4.6.4 Análise de Tendência

A análise de tendência consiste na utilização de dados atuais para projeções de resultados futuros por meio da obtenção da reta de regressão.

Gráfico 5 – Análise de Tendência



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

Analisando o Gráfico 5 referente as 355 bobinas utilizadas neste estudo, nota-se que embora a espessura das bobinas de alumínio variem para cima e para baixo do valor alvo de 0,260mm, existe uma tendência relacionada com o aumento da espessura.

A equação do modelo linear de tendência é representada pela função:

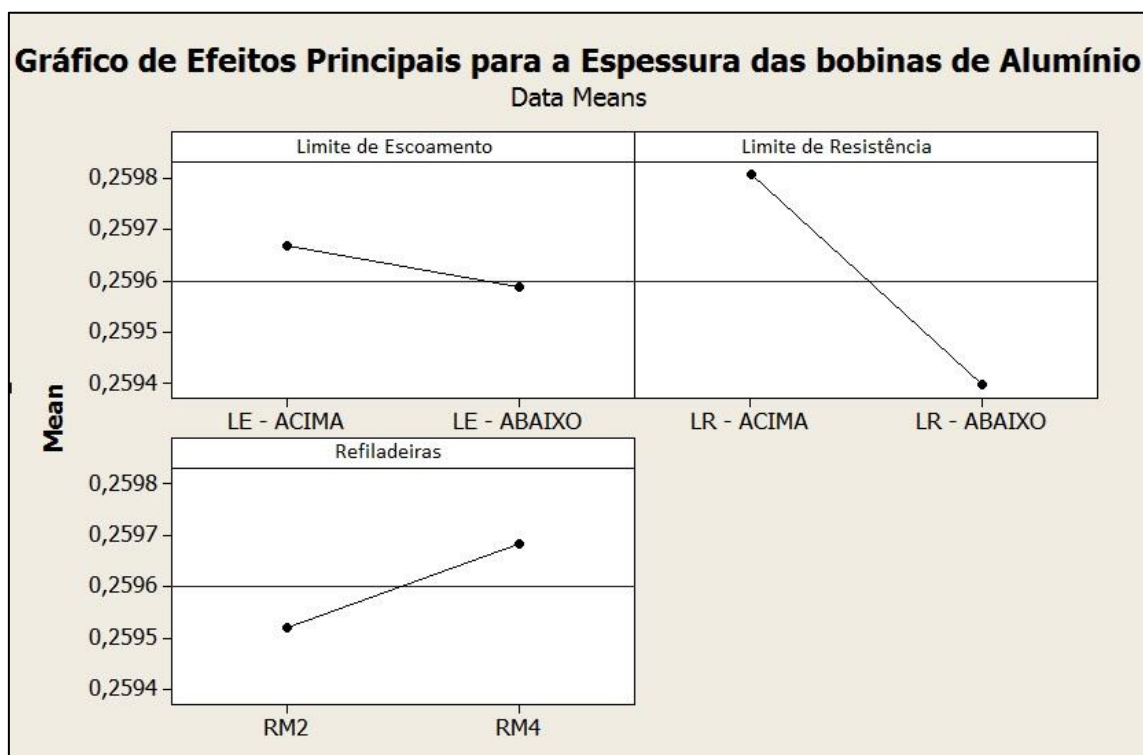
$$Y(t) = 0,259219 + 0,000002 * t \quad (6)$$

Percebe-se que a equação desta reta apresenta coeficiente angular positivo igual a 0,0000002, ou seja, prevê-se que bobinas futuras apresentem valores de espessura crescentes.

4.6.5 Gráfico de Efeitos Principais

Dentro do projeto de experimento, o gráfico de efeito principal exhibe como os níveis das variáveis independentes agem em relação a variável dependente.

Gráfico 6 - Gráfico de Efeitos Principais



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

O Gráfico 6 indica que dentre os níveis dos fatores, existe diferença significativa dos valores médios da espessura das bobinas de alumínio. Em relação aos limites de escoamento e resistência, os valores acima da média estão correlacionados com bobinas de alumínio mais espessas, enquanto valores abaixo da média com bobinas mais finas. No entanto, observa-se uma maior diferença entre as espessuras dos dois níveis do limite de resistência. Em termos de refiladeira, nota-se que as bobinas provenientes da RM4 são mais espessas que as provenientes da RM2.

4.6.6 Análise de Variância (ANOVA)

Como parte do projeto de experimento, a análise de variância é utilizada para comprovar se existe diferença significativa entre os níveis dos fatores em relação a variável resposta. Por meio do teste de hipótese para cada fator, é possível determinar se os valores das médias dos seus níveis são iguais ou não:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1: \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \quad (7)$$

Dois métodos podem ser utilizados para a determinação do aceite ou não da hipótese H_0 : Valor-P e Valor-F.

O primeiro método que leva em consideração o Valor-P afirma para se:

$$\text{Rejeitar } H_0 \text{ se } P_{\text{value}} < \alpha \quad (8)$$

O outro que leva em consideração o Valor-F afirma que se deve:

$$\text{Rejeitar } H_0 \text{ se } F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a} \quad (9)$$

Tabela 4 – Análise de Variância

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Limite de Escoamento	1	0,0000003	0,0000017	0,0000017	1,49	0,223
Limite de Resistência	1	0,0000163	0,0000147	0,0000147	12,65	0,000
Bloqueio	1	0,0000006	0,0000006	0,0000006	0,50	0,480
Erro	351	0,0004080	0,0004080	0,0000012		
Total	354	0,0004252				

S = 0,00107819 R-Sq = 4,04% R-Sq(adj) = 3,22%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

A Tabela 4 apresenta o resultado da análise de variância do modelo linear considerando dois fatores com dois níveis cada e a técnica de bloqueio. Essas informações foram citadas na Tabela 3 da seção 4.5.

Aplicando-se o método do valor-P, observa-se que para o limite de escoamento e o bloqueio os valores de P, respectivamente 0,223 e 0,480 são maiores que o valor alpha de 0,05. Por isso, se aceita a hipótese nula afirmando que não existe diferença significativa entre as espessuras médias entre os dois níveis. No entanto, para o limite de resistência, o valor-P é menor que o valor de alpha, por isso, se rejeita a hipótese nula

afirmando que as espessuras dos níveis acima e abaixo do limite de resistência médio apresenta diferença significativa.

Para a utilização do método valor-F, obtêm-se o valor abaixo por do Anexo A referente a Tabela de distribuição F, onde a letra a representa o número de níveis do experimento e N a quantidade amostras analisadas:

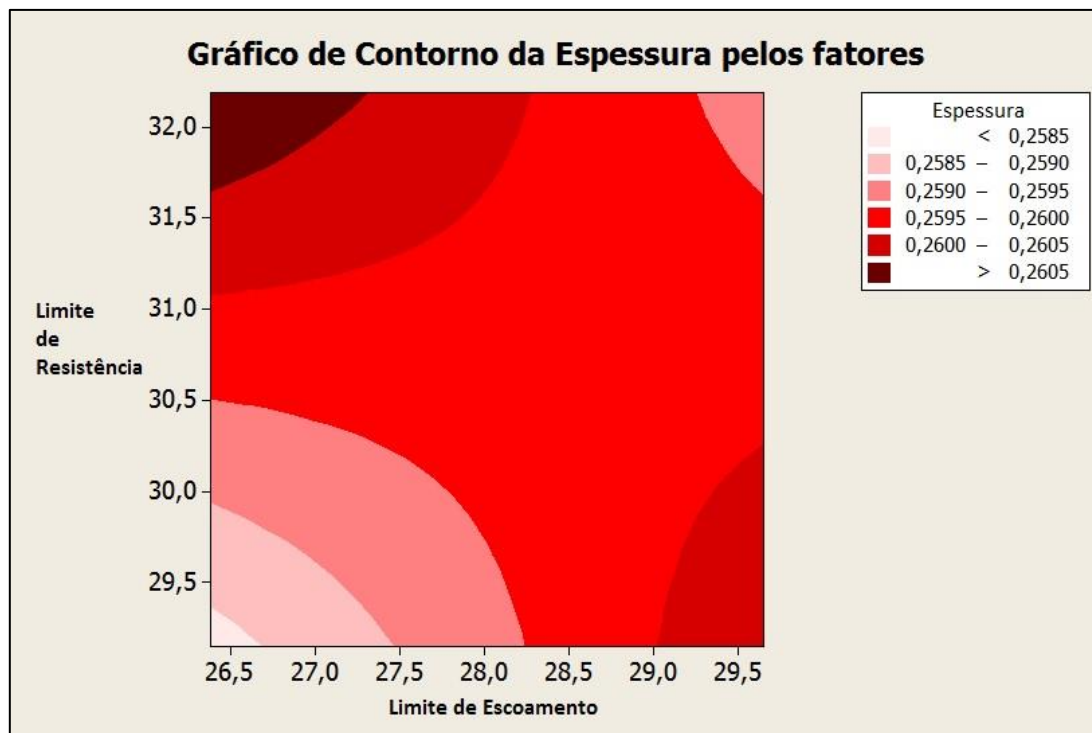
$$F_{\alpha, a-1, N-a} = F_{0.05, 2-1, 355-3} = 3.84 \quad (10)$$

A aplicação deste método resulta no mesmo achado do método anterior. Isso porque 1,49 e 0,50 provenientes do limite de escoamento e do bloqueio são menores que 3,8415 e o valor de F do limite de resistência que é igual a 12,65, é maior do que 3,8415. Assim, enquanto se aceita a hipótese H_0 para limite de escoamento e para o bloqueio, se rejeita para o limite de resistência.

4.6.7 Gráfico de Contorno

O gráfico de contorno é usado para se explorar a relação entre três variáveis em duas dimensões. Sua importância para o projeto de experimento se deve pelo fato de possibilitar uma visão geral sobre o sistema.

Gráfico 7 – Gráfico de Contorno



Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

O Gráfico 7 revela como a espessura da bobina de alumínio varia com relação ao limite de escoamento e de resistência. Por meio de sua análise é possível constatar que baixos valores de limite de escoamento combinado com baixos valores de limite de resistência resultam nas bobinas de menor espessura e que baixos valores de limite de escoamento com elevados valores de limite de resistência resultam em bobinas mais espessas.

5. CONCLUSÃO

As espessuras das bobinas de alumínio sofrem uma grande variação durante o processo de manufatura e são características importantes para seus clientes pelo fato de que uma pequena variação em termos de espessura pode afetar as linhas de produção. Por esses fatos ela foi utilizada como a variável resposta deste projeto de experimento.

Os objetivos propostos por este trabalho de graduação foram atingidos de forma eficaz com a aplicação de ferramentas da qualidade e do projeto de experimento. Com a aplicação da ferramenta da qualidade FMEA foi determinado que os principais fatores relacionados com a espessura da bobina de alumínio são o limite de escoamento e limite de resistência.

Por meio da análise estatística de processo com a aplicação da capacidade, carta de controle e linha de tendência pode-se observar melhor o processo de manufatura das bobinas de alumínio em termos de espessura, limite de escoamento e limite de resistência. Embora a distribuição normal das espessuras das bobinas manufaturas em Abril de 2015 mostre que as bobinas estão com valores médios abaixo do valor alvo de 0,260mm, a linha de tendência demonstra que as espessuras das bobinas produzidas próximas ao final do mês estão mais espessas.

Essa análise aliada à aplicação do projeto de experimento aperfeiçoa o entendimento do processo. Por intermédio da ANOVA, conclui-se que não existe diferença significativa entre os dois níveis do limite de escoamento e entre as duas máquinas refiladoras. Com relação ao limite de resistência, se afirma que existe diferença significativa entre os níveis acima e abaixo da média, sendo os valores elevados de limite de resistência relacionados com bobinas mais espessas e os valores mais baixos com bobinas de alumínio mais finas.

As dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho estão relacionadas com a falta de material didático que correlacionam projeto de experimento com ferramentas da qualidade. A obtenção dos dados em uma empresa que necessita aprimorar a qualidade de seu produto e o entendimento do seu processo por causa da concorrência externa foi difícil por motivo de sigilo industrial.

Este estudo pode orientar a empresa abordada a buscar uma melhor compreensão das exigências dos clientes redirecionando as especificações das bobinas para aqueles que solicitem as características desejadas. Esta ação permite diminuir a variabilidade da

espessura, dos limites de escoamento e de resistência das bobinas que chegam nos diferentes clientes.

Em relação a oportunidades de trabalhos futuros, novas características do alumínio podem ser utilizadas como fatores e outras máquinas pertencentes às etapas do processo de manufatura do alumínio podem ser utilizadas como técnica de bloqueio para uma aplicação do projeto de experimento. A determinação dos principais fatores do projeto de experimento por meio de ferramentas da qualidade pode ser mais bem explorada com a utilização de outras ferramentas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D.C.; SALOMON, V.A.P.; MELLO, C.H.P. An ISO 9001 based approach for the implementation of process FMEA in the Brazilian automotive industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.32, n.6, p.589-602, 2015.
- ALLEN, L. C. Role of a quality management system in improving patient safety – Laboratory aspects. **Clinical Biochemistry**, v.46, n.1, p.1187-1193, 2013.
- ÁLVAREZ, E. et al. Methodological insights for industrial quality control management: The impact of various estimators of the standard deviation on the process capability index. **Journal of Kind Saud University – Science**, v.27, n.1, p.271-277, 2015.
- ANTONY, J.; SIVANATHAN, L.; GIJO, E. Design of Experiments in a higher education setting. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.63, n.4, p.513-521, 2014.
- BABANOVA, S. et al. Design of Experiments and principal component analysis as approaches for enhancing performance of gas-diffusional air-breathing bilirubin oxidase cathode. **Journal of Power Sources**, v.245, n.1, p.389-397, 2014.
- BRACKE, S.; BACKES, B. Multidimensional analysis of manufacturing process: Process capability within the case study shape drill manufacturing. **IFAC – Papers Online**, v.48, n.3, p.2380-2386, 2015.
- BUCHERT, T. et al. A survey of general-purpose experiment management tools for distributed systems. **Future Generation Computer Systems**, v.45, n.1, p.1-12, 2015.
- CAUCHICK, P. A. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011, p. 57-58.
- COHEN, A.; TIPLICA, T.; KOBİ, A. Design of experiments and statistical process control using wavelets analysis. **Control Engineering Practice**, 2015.
- ELBELTAGI, I.; KEMPEN, T.; ELAINE, G. Pareto-principle application in non-IT supported CRM processes. **Business Process Management Journal**, v.20, n.1, p.129-150, 2014.

FAHMY, R. et al. Quality by Design I: Application of Failure Mode Effect Analysis (FMEA) and Plackett-Burman Design of Experiments in the identification of “Main Factors” in the Formulation and Process Design Space for Roller-Compacted Ciprofloxacin Hydrochloride Immediate-Release Tablets. **AAPS PharmSciTech**, v.13, n.4, p. 1243-1254, 2013.

FAROOQ, M. A. et al. An innovative approach for planning and execution of pre-experimental runs for Design of Experiments. **Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa**, 2015.

FOTOPOULOS, C.; KAFETZOPOULOS, D.; GOTZAMANI, K. Critical factors for effective implementation of the HACCP system: a Pareto analysis. **British Food Journal**, v.113, n.5, p.578-597, 2011.

FRAISAT, L.; SAWALHA, I. Quality control and supply chain management: a contextual perspective and a case study. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.18, n.2, p.194-207, 2013.

GILLIES, A.C. Tools to support the development of a quality culture in a learning organization. **The TQM Journal**, v.27, n.4, p.471-482, 2015.

HERAS, I.; MARIMON, F.; CASADESÚS, M. Impact of quality improvement tools on the performance of firms using different quality management systems. **Revista Innovar Journal**, v.21, n.42, p.161-173, 2011.

HIRSCH, J. Recent development in aluminium for automotive applications. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v.24, n.1, p.1995-2002, 2014.

JONAS, D.; KOCK, A.; GEMUNDEN, H.G. Predicting Project Portfolio Success by Measuring Quality – A Longitudinal Study. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v.60, n.2, p.215-226, 2013.

JOZANI, M. J.; MIRKAMALI, S. J. Control charts for attributes with maxima nominated samples. **Journal of Statistical Planning and Inference**, v.141, n.1, p.2386-2398, 2011.

JURAN, J. M. How to think about Quality. In: _____. **Juran's Quality Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2010, p. 26-43.

KAVITHA, M. et al. Optimization of process parameters for solution combustion synthesis of Strontium substituted Hydroxyapatite nanocrystals using Design of Experiments approach. **Powder Technology**, v. 271, n.1, p.167-181, 2015.

KHANNA, N.; DAVIM, J.P. Design-of-experiments application in machining titanium alloys for aerospace structural componentes. **Measurement**, v. 61, n.1, p.280-290, 2015.

KLUZ, R.; TRZEPICINSKI, T. Analysis of the optimal orientation of robot gripper for an improved capability assembly process. **Robotics and Autonomous Systems**, v.75, n.1, p.253-266, 2015.

LEME, R. C. et al. Design of experiments applied to environmental variables analysis in electricity utilities efficiency: The Brazilian case. **Energy Economics**, v.45, n.1, p.111-119, 2014.

LIEPINA, R.; LAPINA, I.; MAZAIS, J. Contemporary issues of quality management: relationship between conformity assessment and quality management. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v.110, n.1, p.627-637, 2014.

LÓPEZ-TARJUELO, J. et al. Statistical process control for electron beam monitoring. **Physica Media**, v.31, n.1, p.493-500, 2015.

MANDAL, S.; MAITI, J. Risk Analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. **Expert Systems with Applications**, v.41, n.1, p.3527-3537, 2014.

MARTINET, S. et al. Design of experimete methodology to improve the energy density of lithiated metal phosphates. **Solid State Ionics**, v.268, n.1, p.247-251, 2014.

MELLAT-PARAST, M. Convergency theory in quality management: evidence from the petroleum industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.30, n.2, p.177-196, 2013.

MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. 8 ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2009, p. 57-88.

O'NEILL, P.; SOHAL, A.; TENG, C. W. Quality management approaches and their impacton firms' financial performance – An Australian study. **International Journal of Production Economics**, 2015.

PACIAROTTI, C.; MAZZUTO, G.; D'ETTORRE, D. A revised FMEA application to the quality control management. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.31, n.7, p.788-810, 2014.

PEREIRA, P. et al. Quality management in European screening laboratories in blood establishments: A view of current approaches and trends. **Transfusion and Apheresis Science**, v.52, n.1, p.245-251, 2015.

PÉREZ-ARÓSTEGUI, M. N.; BUSTINZA-SÁNCHEZ, F.; BARRALES-MOLINA, V.; Exploring the relationship between information technology competence and quality management. **Business Research Quarterly**, 2014.

PIMENTEL, L.; BARRUETO JUNIOR, F. Statistical Process Control: Separating signal from noise in emergency department operations. **The Journal of Emergency Medicine**, v.48, n.5, p.628-638, 2015.

SANTOMAURO, A. C. Os eventos esportivos mais importantes da terra movimentarão o mercado de embalagens de alumínio. **Alumínio: Inovação e Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/23/artigo210777-1.asp>>. Acesso em: 10 out. 2015.

SANTOMAURO, A. C. Demanda é favorável, mas disponibilidade de energia e elevada carga tributária são fatores que reprimem. **Alumínio: Inovação e Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/11/artigo210562-1.asp>>. Acesso em: 11 out. 2015.

SARKAR, A.; MUKHOPADHYAY, A.R.; GHOSH, S.K. Issues in Pareto analysis and their resolution. **Total Quality Management & Business Excellence**, v.24, n.5, p.641-651, 2013.

SCHNEIDERMAN, S. J. et al. Quantifying second generation ethanol inhibition: Design of Experiments approach and kinetic model development. **Bioresource Technology**, v.179, n.1, p.219-226, 2015.

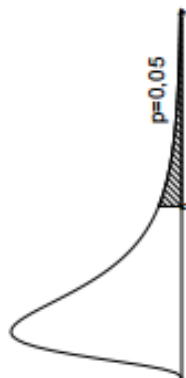
SHAN, S.; ZHAO, Q.; HUA, F. Impact of quality management practices on the knowledge creation process: The Chinese aviation firm perspective. **Computers & Industrial Engineering**, v.64, n.1, p.211-223, 2013.

SILVA, D.A.L. et al. Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, v.47, n.1, p.174-187, 2013.

TALIB, M.S.; HAMID, A.B.A.; CHIN, T.A. Motivations and limitations in implementing Halal food certification: A pareto analysis. **British Food Journal**, v.117, n.1, p. 1-80, 2015.

WU, S. J.; ZHANG, D. Analyzing the effectiveness of quality management practices in China. **International Journal of Production Economics**, v.144, n.1, p.281-289, 2013.

ANEXO A

Distribuição F de Snedecor com α igual a 5%Distribuição F de Snedecor a 5% ($p=0,05$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18	20	30	40	60	120
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,42	19,43	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,71	8,70	8,69	8,67	8,66	8,62	8,59	8,57	8,55
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,87	5,86	5,84	5,82	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,64	4,62	4,60	4,58	4,56	4,50	4,46	4,43	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,96	3,94	3,92	3,90	3,87	3,81	3,77	3,74	3,70
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,53	3,51	3,49	3,47	3,44	3,38	3,34	3,30	3,27
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,24	3,22	3,20	3,17	3,15	3,08	3,04	3,01	2,97
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,03	3,01	2,99	2,96	2,94	2,86	2,83	2,79	2,75
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,86	2,85	2,83	2,80	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,74	2,72	2,70	2,67	2,65	2,57	2,53	2,49	2,45
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,64	2,62	2,60	2,57	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,55	2,53	2,51	2,48	2,46	2,38	2,34	2,30	2,25
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,48	2,46	2,44	2,41	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,42	2,40	2,38	2,35	2,33	2,25	2,20	2,16	2,11
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,37	2,35	2,33	2,30	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,33	2,31	2,29	2,26	2,23	2,15	2,10	2,06	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,29	2,27	2,25	2,22	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,26	2,23	2,21	2,18	2,16	2,07	2,03	1,98	1,93
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,22	2,20	2,18	2,15	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,20	2,18	2,16	2,12	2,10	2,01	1,96	1,92	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,17	2,15	2,13	2,10	2,07	1,98	1,94	1,89	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,15	2,13	2,11	2,08	2,05	1,96	1,91	1,86	1,81
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,13	2,11	2,09	2,05	2,03	1,94	1,89	1,84	1,79
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,11	2,09	2,07	2,04	2,01	1,92	1,87	1,82	1,77
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,09	2,07	2,05	2,02	1,99	1,90	1,85	1,80	1,75
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,08	2,06	2,04	2,00	1,97	1,88	1,84	1,79	1,73
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,06	2,04	2,02	1,99	1,96	1,87	1,82	1,77	1,71
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,05	2,03	2,01	1,97	1,94	1,85	1,81	1,75	1,70
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,04	2,01	1,99	1,96	1,93	1,84	1,79	1,74	1,68
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,95	1,92	1,90	1,87	1,84	1,74	1,69	1,64	1,58
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,86	1,84	1,82	1,78	1,75	1,65	1,59	1,53	1,47
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,78	1,75	1,73	1,69	1,66	1,55	1,50	1,43	1,35

ANEXO B

Anexo B – Base de Dados utilizada no Projeto de Experimento

Limite de Escoamento [Kgf/mm ²]	Limite de Resistência [Kgf/mm ²]	Espessura [mm]	Refiladeira	StdOrder	RunOrder	Blocks	CenterPt
27,47	30,30	0,260	RM4	1	1	4	1
29,13	31,73	0,259	RM4	2	2	4	1
28,43	31,06	0,259	RM4	3	3	4	1
28,34	31,09	0,260	RM4	4	4	4	1
27,38	29,87	0,259	RM2	5	5	2	1
27,50	30,39	0,259	RM4	6	6	4	1
28,30	30,89	0,257	RM4	7	7	4	1
27,77	30,32	0,258	RM4	8	8	4	1
27,89	31,05	0,260	RM4	9	9	4	1
28,81	31,30	0,260	RM4	10	10	4	1
27,63	30,57	0,260	RM4	11	11	4	1
28,32	31,28	0,260	RM4	12	12	4	1
28,84	31,46	0,261	RM4	13	13	4	1
27,68	30,88	0,260	RM2	14	14	2	1
28,38	31,46	0,260	RM4	15	15	4	1
27,56	30,12	0,258	RM4	16	16	4	1
28,50	31,24	0,260	RM4	17	17	4	1
27,97	31,09	0,260	RM4	18	18	4	1
27,25	30,33	0,259	RM4	19	19	4	1
28,98	32,04	0,259	RM4	20	20	4	1
28,38	31,03	0,259	RM2	21	21	2	1
29,65	32,19	0,260	RM4	22	22	4	1
28,70	31,82	0,259	RM4	23	23	4	1
28,46	31,18	0,261	RM4	24	24	4	1
28,41	31,37	0,261	RM4	25	25	4	1
28,06	30,51	0,259	RM4	26	26	4	1
28,50	31,03	0,258	RM4	27	27	4	1
27,80	30,56	0,260	RM4	28	28	4	1
27,04	30,21	0,260	RM4	29	29	4	1
27,57	30,63	0,260	RM4	30	30	4	1
27,82	30,55	0,260	RM2	31	31	2	1
27,49	29,95	0,260	RM2	32	32	2	1
28,03	30,35	0,260	RM2	33	33	2	1
26,38	29,53	0,259	RM4	34	34	4	1
26,99	29,87	0,259	RM4	35	35	4	1
26,86	29,90	0,259	RM4	36	36	4	1
26,93	29,96	0,259	RM4	37	37	4	1

27,00	29,94	0,259	RM4	38	38	4	1
27,00	30,04	0,258	RM4	39	39	4	1
26,80	29,99	0,260	RM4	40	40	4	1
27,44	29,99	0,261	RM2	41	41	2	1
27,80	30,38	0,261	RM2	42	42	2	1
27,61	30,03	0,260	RM2	43	43	2	1
27,51	30,38	0,260	RM2	44	44	2	1
27,51	30,38	0,260	RM2	45	45	2	1
27,26	30,10	0,260	RM2	46	46	2	1
27,26	30,10	0,260	RM2	47	47	2	1
27,27	29,90	0,259	RM2	48	48	2	1
27,27	29,90	0,258	RM2	49	49	2	1
27,88	30,34	0,258	RM2	50	50	2	1
27,88	30,34	0,258	RM2	51	51	2	1
27,50	30,09	0,258	RM2	52	52	2	1
27,56	30,06	0,260	RM4	53	53	4	1
27,37	30,10	0,258	RM2	54	54	2	1
27,65	30,37	0,259	RM2	55	55	2	1
28,41	31,00	0,260	RM4	56	56	4	1
29,07	31,61	0,259	RM4	57	57	4	1
28,53	30,94	0,260	RM4	58	58	4	1
28,18	31,22	0,260	RM4	59	59	4	1
28,58	31,34	0,259	RM4	60	60	4	1
28,59	31,20	0,258	RM4	61	61	4	1
29,00	31,48	0,259	RM2	62	62	2	1
27,32	30,01	0,260	RM2	63	63	2	1
28,25	31,30	0,259	RM4	64	64	4	1
28,51	31,33	0,260	RM4	65	65	4	1
27,39	30,11	0,259	RM4	66	66	4	1
28,30	31,08	0,259	RM4	67	67	4	1
27,27	29,80	0,259	RM2	68	68	2	1
27,59	30,48	0,259	RM2	69	69	2	1
28,64	31,18	0,259	RM2	70	70	2	1
27,98	30,52	0,260	RM2	71	71	2	1
27,27	30,09	0,260	RM4	72	72	4	1
27,89	30,57	0,258	RM2	73	73	2	1
28,80	31,42	0,259	RM4	74	74	4	1
27,35	30,27	0,258	RM4	75	75	4	1
27,37	30,05	0,260	RM2	76	76	2	1
27,61	30,18	0,259	RM2	77	77	2	1
26,83	29,78	0,258	RM4	78	78	4	1
26,72	29,80	0,260	RM4	79	79	4	1
28,97	31,30	0,259	RM2	80	80	2	1
27,35	29,99	0,259	RM2	81	81	2	1
27,08	29,77	0,260	RM2	82	82	2	1

27,79	30,37	0,260	RM4	83	83	4	1
28,86	31,39	0,259	RM4	84	84	4	1
28,62	30,77	0,259	RM4	85	85	4	1
27,27	29,77	0,259	RM2	86	86	2	1
27,48	30,40	0,259	RM2	87	87	2	1
29,13	31,30	0,259	RM4	88	88	4	1
28,09	30,23	0,259	RM4	89	89	4	1
27,06	29,95	0,258	RM4	90	90	4	1
28,08	30,94	0,262	RM4	91	91	4	1
27,83	30,30	0,260	RM2	92	92	2	1
28,82	31,17	0,259	RM2	93	93	2	1
28,84	31,82	0,259	RM4	94	94	4	1
29,19	31,49	0,261	RM4	95	95	4	1
27,86	30,24	0,261	RM4	96	96	4	1
28,63	31,42	0,260	RM2	97	97	2	1
28,08	30,80	0,259	RM4	98	98	4	1
26,98	29,90	0,257	RM4	99	99	4	1
26,70	29,67	0,258	RM4	100	100	4	1
27,71	30,48	0,260	RM4	101	101	4	1
27,97	30,66	0,259	RM4	102	102	4	1
28,39	31,06	0,260	RM4	103	103	4	1
27,10	29,75	0,259	RM2	104	104	2	1
28,17	30,88	0,262	RM2	105	105	2	1
28,55	31,70	0,260	RM4	106	106	4	1
27,04	29,78	0,259	RM2	107	107	2	1
27,11	29,74	0,261	RM4	108	108	4	1
28,78	31,40	0,262	RM4	109	109	4	1
27,04	29,87	0,258	RM4	110	110	4	1
29,13	31,55	0,261	RM4	111	111	4	1
28,62	31,43	0,259	RM2	112	112	2	1
28,27	30,94	0,260	RM4	113	113	4	1
28,22	30,80	0,258	RM4	114	114	4	1
29,35	31,76	0,259	RM4	115	115	4	1
28,63	31,27	0,259	RM2	116	116	2	1
28,38	30,90	0,260	RM4	117	117	4	1
27,63	30,20	0,259	RM2	118	118	2	1
28,19	31,11	0,260	RM4	119	119	4	1
27,44	30,22	0,258	RM2	120	120	2	1
27,18	30,09	0,260	RM4	121	121	4	1
27,41	30,28	0,259	RM4	122	122	4	1
27,19	30,09	0,260	RM4	123	123	4	1
27,53	30,14	0,259	RM2	124	124	2	1
27,40	30,19	0,260	RM2	125	125	2	1
27,48	30,26	0,259	RM4	126	126	4	1
27,71	30,13	0,257	RM4	127	127	4	1

27,51	30,14	0,259	RM4	128	128	4	1
28,72	31,40	0,258	RM4	129	129	4	1
27,16	30,03	0,260	RM2	130	130	2	1
27,54	30,31	0,259	RM2	131	131	2	1
28,28	31,06	0,261	RM4	132	132	4	1
28,53	30,94	0,260	RM2	133	133	2	1
28,08	30,97	0,260	RM2	134	134	2	1
28,83	31,05	0,262	RM2	135	135	2	1
28,91	31,05	0,260	RM4	136	136	4	1
27,59	30,16	0,258	RM4	137	137	4	1
27,63	30,08	0,259	RM2	138	138	2	1
27,94	30,70	0,260	RM4	139	139	4	1
28,46	30,84	0,260	RM4	140	140	4	1
28,03	30,52	0,259	RM4	141	141	4	1
27,76	30,46	0,260	RM4	142	142	4	1
27,60	30,51	0,259	RM4	143	143	4	1
27,23	29,57	0,260	RM4	144	144	4	1
28,43	31,18	0,261	RM4	145	145	4	1
28,60	30,78	0,259	RM4	146	146	4	1
28,14	31,06	0,259	RM4	147	147	4	1
27,71	30,39	0,258	RM2	148	148	2	1
28,38	30,56	0,260	RM4	149	149	4	1
28,24	30,73	0,261	RM4	150	150	4	1
27,80	30,44	0,259	RM4	151	151	4	1
27,66	30,29	0,259	RM2	152	152	2	1
27,94	30,57	0,258	RM4	153	153	4	1
28,70	31,52	0,259	RM2	154	154	2	1
28,23	31,18	0,259	RM4	155	155	4	1
28,91	31,05	0,260	RM4	156	156	4	1
27,28	29,77	0,257	RM2	157	157	2	1
27,30	29,96	0,257	RM2	158	158	2	1
27,52	30,24	0,258	RM4	159	159	4	1
28,36	31,28	0,261	RM4	160	160	4	1
28,52	31,43	0,261	RM4	161	161	4	1
26,86	29,96	0,260	RM4	162	162	4	1
28,46	31,24	0,259	RM4	163	163	4	1
28,49	30,60	0,260	RM4	164	164	4	1
28,18	30,75	0,261	RM4	165	165	4	1
27,28	30,48	0,260	RM4	166	166	4	1
27,11	30,35	0,260	RM4	167	167	4	1
27,47	30,30	0,258	RM4	168	168	4	1
28,20	30,58	0,260	RM2	169	169	2	1
27,85	30,47	0,260	RM2	170	170	2	1
28,00	30,34	0,262	RM2	171	171	2	1
28,08	30,94	0,262	RM4	172	172	4	1

27,50	30,18	0,258	RM2	173	173	2	1
27,38	30,21	0,259	RM2	174	174	2	1
27,38	30,21	0,258	RM2	175	175	2	1
27,45	30,18	0,260	RM2	176	176	2	1
27,45	30,18	0,260	RM2	177	177	2	1
27,80	30,18	0,260	RM2	178	178	2	1
27,99	30,44	0,260	RM2	179	179	2	1
27,59	30,16	0,257	RM2	180	180	2	1
27,59	30,16	0,258	RM2	181	181	2	1
28,08	30,96	0,259	RM2	182	182	2	1
28,43	31,36	0,258	RM4	183	183	4	1
28,23	31,01	0,261	RM4	184	184	4	1
28,21	30,84	0,260	RM2	185	185	2	1
27,48	30,40	0,259	RM4	186	186	4	1
27,62	30,57	0,258	RM4	187	187	4	1
28,14	30,72	0,261	RM4	188	188	4	1
27,58	30,06	0,258	RM2	189	189	2	1
28,02	30,31	0,259	RM4	190	190	4	1
28,00	30,50	0,260	RM4	191	191	4	1
28,06	30,58	0,261	RM2	192	192	2	1
27,28	29,84	0,259	RM2	193	193	2	1
27,94	30,54	0,258	RM2	194	194	2	1
28,02	30,54	0,260	RM2	195	195	2	1
28,03	30,75	0,260	RM2	196	196	2	1
28,32	30,76	0,260	RM2	197	197	2	1
28,33	31,37	0,260	RM2	198	198	2	1
28,31	30,84	0,257	RM2	199	199	2	1
27,34	30,56	0,262	RM4	200	200	4	1
27,95	30,38	0,259	RM2	201	201	2	1
28,02	30,93	0,258	RM2	202	202	2	1
27,50	30,18	0,259	RM2	203	203	2	1
27,80	30,18	0,259	RM2	204	204	2	1
27,36	30,00	0,259	RM2	205	205	2	1
27,36	30,00	0,259	RM2	206	206	2	1
28,59	30,70	0,259	RM4	207	207	4	1
27,73	30,51	0,260	RM2	208	208	2	1
27,07	29,93	0,258	RM2	209	209	2	1
27,30	29,88	0,259	RM2	210	210	2	1
27,47	30,09	0,260	RM2	211	211	2	1
27,04	29,78	0,258	RM2	212	212	2	1
28,00	30,66	0,260	RM2	213	213	2	1
27,62	30,47	0,261	RM2	214	214	2	1
27,28	29,84	0,259	RM2	215	215	2	1
27,58	30,12	0,259	RM2	216	216	2	1
27,58	30,12	0,259	RM2	217	217	2	1

27,91	30,37	0,261	RM4	218	218	4	1
27,85	30,31	0,259	RM2	219	219	2	1
27,85	30,31	0,258	RM2	220	220	2	1
28,02	30,54	0,260	RM2	221	221	2	1
29,01	31,33	0,260	RM2	222	222	2	1
27,38	30,07	0,261	RM2	223	223	2	1
28,21	31,19	0,261	RM4	224	224	4	1
27,85	30,34	0,260	RM2	225	225	2	1
27,92	30,73	0,259	RM2	226	226	2	1
27,83	30,70	0,259	RM2	227	227	2	1
28,17	30,53	0,259	RM4	228	228	4	1
28,58	31,70	0,260	RM4	229	229	4	1
27,28	30,13	0,258	RM4	230	230	4	1
27,46	30,19	0,258	RM2	231	231	2	1
27,86	30,24	0,260	RM2	232	232	2	1
28,25	30,51	0,261	RM2	233	233	2	1
28,93	31,06	0,259	RM2	234	234	2	1
27,83	30,16	0,260	RM4	235	235	4	1
27,69	30,75	0,261	RM4	236	236	4	1
27,05	29,93	0,258	RM2	237	237	2	1
26,96	30,05	0,258	RM2	238	238	2	1
27,56	30,10	0,259	RM2	239	239	2	1
27,45	30,09	0,261	RM2	240	240	2	1
27,36	29,87	0,261	RM2	241	241	2	1
27,91	30,20	0,262	RM2	242	242	2	1
27,95	30,59	0,259	RM2	243	243	2	1
27,27	30,26	0,258	RM2	244	244	2	1
28,06	30,42	0,261	RM2	245	245	2	1
27,77	30,47	0,258	RM2	246	246	2	1
28,68	31,08	0,261	RM2	247	247	2	1
28,08	30,47	0,259	RM2	248	248	2	1
28,31	30,78	0,261	RM2	249	249	2	1
28,62	31,28	0,260	RM2	250	250	2	1
28,86	31,61	0,261	RM2	251	251	2	1
28,00	30,12	0,261	RM2	252	252	2	1
27,83	30,52	0,262	RM4	253	253	4	1
28,25	30,75	0,261	RM2	254	254	2	1
28,11	30,53	0,261	RM4	255	255	4	1
27,54	30,42	0,260	RM2	256	256	2	1
28,42	30,87	0,259	RM2	257	257	2	1
27,69	30,42	0,260	RM2	258	258	2	1
28,31	30,51	0,261	RM4	259	259	4	1
27,98	30,54	0,260	RM2	260	260	2	1
27,63	30,57	0,260	RM2	261	261	2	1
28,14	30,87	0,260	RM4	262	262	4	1

27,97	30,28	0,261	RM4	263	263	4	1
27,59	30,36	0,258	RM4	264	264	4	1
27,65	30,27	0,259	RM2	265	265	2	1
28,89	31,52	0,261	RM4	266	266	4	1
27,99	30,44	0,260	RM2	267	267	2	1
26,63	29,15	0,259	RM2	268	268	2	1
27,94	30,54	0,259	RM2	269	269	2	1
28,26	30,60	0,260	RM2	270	270	2	1
28,29	30,84	0,258	RM2	271	271	2	1
27,82	30,38	0,260	RM4	272	272	4	1
27,66	30,42	0,262	RM2	273	273	2	1
27,66	30,42	0,262	RM2	274	274	2	1
27,54	30,31	0,258	RM4	275	275	4	1
26,87	29,71	0,261	RM2	276	276	2	1
27,59	30,42	0,260	RM2	277	277	2	1
28,70	31,35	0,258	RM2	278	278	2	1
28,62	31,28	0,260	RM4	279	279	4	1
27,54	30,66	0,260	RM2	280	280	2	1
27,86	30,35	0,260	RM2	281	281	2	1
26,96	30,05	0,260	RM4	282	282	4	1
27,07	29,84	0,261	RM4	283	283	4	1
28,62	31,05	0,260	RM4	284	284	4	1
27,99	30,41	0,260	RM2	285	285	2	1
27,99	30,41	0,260	RM2	286	286	2	1
27,47	30,33	0,261	RM2	287	287	2	1
28,08	30,96	0,259	RM2	288	288	2	1
28,14	30,75	0,259	RM2	289	289	2	1
28,14	30,75	0,259	RM2	290	290	2	1
27,08	29,83	0,259	RM2	291	291	2	1
28,29	31,08	0,261	RM4	292	292	4	1
27,79	30,50	0,259	RM4	293	293	4	1
28,78	31,67	0,259	RM4	294	294	4	1
27,53	29,92	0,260	RM2	295	295	2	1
28,08	30,60	0,261	RM4	296	296	4	1
27,64	30,49	0,260	RM4	297	297	4	1
27,25	30,12	0,260	RM2	298	298	2	1
28,72	30,94	0,261	RM2	299	299	2	1
28,78	30,94	0,260	RM4	300	300	4	1
27,85	30,54	0,261	RM4	301	301	4	1
27,04	29,48	0,257	RM4	302	302	4	1
27,85	30,00	0,260	RM4	303	303	4	1
27,44	30,45	0,262	RM2	304	304	2	1
28,06	30,57	0,260	RM4	305	305	4	1
27,03	29,91	0,261	RM2	306	306	2	1
27,88	30,42	0,260	RM2	307	307	2	1

27,91	30,56	0,258	RM2	308	308	2	1
27,25	30,53	0,261	RM4	309	309	4	1
28,23	31,24	0,260	RM4	310	310	4	1
27,80	30,71	0,260	RM2	311	311	2	1
28,50	31,49	0,261	RM2	312	312	2	1
27,73	31,03	0,260	RM4	313	313	4	1
27,12	30,58	0,259	RM2	314	314	2	1
28,32	30,94	0,261	RM4	315	315	4	1
27,69	30,48	0,258	RM2	316	316	2	1
29,46	32,01	0,260	RM2	317	317	2	1
27,28	30,35	0,258	RM4	318	318	4	1
27,35	30,34	0,259	RM2	319	319	2	1
27,94	30,30	0,260	RM2	320	320	2	1
27,97	30,51	0,260	RM2	321	321	2	1
28,00	30,53	0,260	RM2	322	322	2	1
27,56	30,33	0,260	RM2	323	323	2	1
28,17	30,72	0,259	RM2	324	324	2	1
28,21	30,97	0,260	RM2	325	325	2	1
27,91	30,57	0,260	RM2	326	326	2	1
27,91	30,57	0,260	RM2	327	327	2	1
27,47	30,33	0,261	RM2	328	328	2	1
27,32	30,09	0,259	RM2	329	329	2	1
28,64	31,15	0,261	RM4	330	330	4	1
28,11	30,81	0,261	RM4	331	331	4	1
28,49	31,18	0,260	RM4	332	332	4	1
27,53	30,29	0,260	RM4	333	333	4	1
27,41	30,24	0,261	RM4	334	334	4	1
27,89	30,51	0,260	RM2	335	335	2	1
27,40	30,19	0,259	RM4	336	336	4	1
27,06	29,98	0,260	RM2	337	337	2	1
26,84	29,80	0,260	RM4	338	338	4	1
27,88	30,42	0,260	RM2	339	339	2	1
28,23	30,69	0,259	RM2	340	340	2	1
28,84	31,30	0,260	RM4	341	341	4	1
26,83	29,81	0,263	RM4	342	342	4	1
28,49	31,17	0,261	RM2	343	343	2	1
27,36	30,00	0,261	RM2	344	344	2	1
28,44	30,94	0,261	RM4	345	345	4	1
28,39	30,58	0,260	RM2	346	346	2	1
27,74	30,19	0,260	RM2	347	347	2	1
28,66	31,12	0,258	RM2	348	348	2	1
26,96	29,80	0,260	RM4	349	349	4	1
28,19	31,27	0,260	RM4	350	350	4	1
28,56	31,33	0,260	RM4	351	351	4	1
28,51	30,99	0,260	RM2	352	352	2	1

27,95	30,36	0,260	RM4	353	353	4	1
28,94	31,29	0,258	RM2	354	354	2	1
28,18	30,88	0,260	RM4	355	355	4	1