



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO
EM UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E DE
PORCELANATO USANDO A FERRAMENTA CEP**

MARIA HELENA VIEIRA PEREIRA MARQUES

João Pessoa – PB

2017

MARIA HELENA VIEIRA PEREIRA MARQUES

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO
EM UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E DE
PORCELANATO USANDO A FERRAMENTA CEP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia de Produção da
Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como
parte dos requisitos necessários para obtenção do
título de Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Jailson Ribeiro de Oliveira

João Pessoa – PB

2017

M357a Marques, Maria Helena Vieira Pereira

Análise da variabilidade do processo de sinterização em uma indústria de revestimentos cerâmicos e de porcelanato usando a ferramenta CEP. / Maria Helena Vieira Pereira Marques. – João Pessoa, 2017.

110f. il.:

Orientador: Prof. Me. Jailson Ribeiro de Oliveira - Orientador

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia de Produção)
Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Controle estatístico do processo 2. Gráfico de controle 3. Qualidade
4. Processo de fabricação cerâmica e porcelanato 5. Sinterização I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 658.56 (043)

MARIA HELENA VIEIRA PEREIRA MARQUES

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO
EM UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E DE
PORCELANATO USANDO A FERRAMENTA CEP**

O presente trabalho foi submetido à avaliação em 21/11/2017, em cumprimento às exigências da **atividade** Trabalho de Conclusão de Curso, recebendo o **conceito** **APROVADO**, sob avaliação da banca examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Jailson Ribeiro de Oliveira

Prof. Me. Jailson Ribeiro de Oliveira - Orientador
Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Centro de Tecnologia/DEP

Darlan Azevedo Pereira

Prof. Dr. Darlan Azevedo Pereira – Membro
Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Centro de Tecnologia/DEP

Liane Márcia Freitas e Silva

Profª Dra. Liane Márcia Freitas e Silva – Membro
Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Centro de Tecnologia/DEP

João Pessoa – PB
Novembro/2017

À Jozinete Vieira e José Marques, meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que ele tem me oferecido durante toda a minha vida.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Jozinete Vieira e José Marques que que sempre se fizeram presentes me ajudando nesta caminhada e são os exemplos em que espelho a minha vida

Ao professor Jailson Ribeiro, que me orientou de forma atenciosa e paciente. Agradeço todas as suas sugestões e conselhos, que foram de grande ajuda para a realização desse trabalho.

A todos os professores, pelas experiências repassadas com muito dinamismo e conhecimento durante a graduação em Engenharia de Produção da UFPB.

Aos meus irmãos Laura e José Neto, a minha avó Maria de Nazaré, pelo amor e carinho.

Aos meus amigos da UFPB, em especial a Larissa, Priscila, Joele, Yuri e Caio, que levarei para toda a vida.

A todas as pessoas que não foram mencionadas, mas que de alguma forma contribuíram para viabilizar este trabalho.

“Cada segundo é tempo para mudar tudo para
sempre.”

(Charles Chaplin)

MARQUES, Maria Helena Vieira Pereira. **Análise da variabilidade do processo de sinterização em uma indústria de revestimentos cerâmicos e de porcelanato usando a ferramenta CEP.** 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). UFPB / CT / DEP, Campus I - João Pessoa, 2017.

RESUMO

Com o objetivo de cumprir as exigências de qualidade no processo de fabricação de cerâmica e porcelanato, a aplicação do controle estatístico de processo (CEP) traz inúmeros benefícios para todo o processo produtivo, oferecendo métodos de avaliação e monitoramento eficiente do processo. Foi adotado como procedimento metodológico a realização de uma pesquisa descritiva, com estudo de caso, além de pesquisa documental, observação participante, entrevistas, foi utilizada a estatística paramétrica e descritiva, além de análise qualitativa. Este trabalho faz uma análise no processo de sinterização do porcelanato, a partir da variável “dimensão da peça”, utilizando ferramentas e conceitos da qualidade e CEP, especialmente os gráficos de controle. A finalidade desta pesquisa é determinar e analisar o modo como o sistema produtivo se comporta, através do monitoramento da variável “dimensão da peça”, que é um dos fatores que implicam no defeito de variação de tonalidade, de forma a embasar a tomada de decisão. Para tanto, foi explanado o fluxo de processo de fabricação da cerâmica e porcelanato, visando a compreensão de suas características técnicas. Foi realizado o levantamento de ocorrência de reclamações dos clientes e estas foram associadas ao setor responsável pelo problema técnico, visando a priorização da área de intervenção da pesquisa. Os resultados obtidos após aplicação do CEP foram analisados, visando a construção de um plano de melhoria de processo, de modo a mitigar as possíveis causas de variabilidade encontradas. Foi empregado como procedimento técnico um estudo de caso, na qual colhidos os dados, mediante uso de fichas de registros, transcritos em planilhas eletrônicas, gerando informações gráficas e quantitativas através de *software* estatístico. Os resultados orientam que há necessidade de a empresa priorizar seus esforços em melhorias técnicas nos fornos e treinamentos para os seus colaboradores a fim de reduzir as causas de variabilidade do processo.

Palavras-chave: Controle estatístico do processo. Gráfico de controle. Qualidade. Processo de fabricação cerâmica e porcelanato. Sinterização.

MARQUES, Maria Helena Vieira Pereira. **Analysis of the variability of the sintering process in a ceramic and porcelain tile industry using the CEP tool.** 110 f. Course Conclusion Work (Bachelor Degree in Manufacturing Engineering). UFPB / CT / DEP, Campus I - João Pessoa, 2017.

ABSTRACT

In order to fulfill the quality requirements in the ceramic and porcelain tile manufacturing process, the application of statistical process control (CEP) brings numerous benefits to the entire production process, offering methods of evaluation and efficient process monitoring. It was adopted as a methodological procedure the accomplishment of a descriptive research, with case study, as well as documentary research, participant observation, interviews, parametric and descriptive statistics, and qualitative analysis. This work makes an analysis in the process of sintering of porcelain, using the variable "dimension of the piece", using tools and concepts of quality and CEP, especially the control charts. The purpose of this research is to determine and analyze the way the productive system behaves by monitoring the variable "piece dimension", which is one of the factors that imply the defect of variation of tone, in order to support decision making. In order to do so, the flow of the ceramic and porcelain tile manufacturing process was explained, in order to understand its technical characteristics. It was carried out the survey of occurrence of customer complaints and these were associated to the sector responsible for the technical problem, aiming at prioritizing the area of intervention of the research. The results obtained after application of the CEP were analyzed, aiming the construction of a process improvement plan, in order to mitigate the possible causes of variability found. A case study was used as a technical procedure, in which data were collected through the use of records, transcribed in electronic spreadsheets, generating graphical and quantitative information through statistical software. The results indicate that the company needs to prioritize its efforts in technical improvements in furnaces and training for its employees in order to reduce the causes of variability of the process.

Keywords: Statistical control of the process. Control chart. Quality. Process of manufacturing ceramics and porcelain. Sintering.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEP	Controle Estatístico de Processo
CCB	Centro Cerâmico do Brasil
CEQ	Controle Estatístico de Qualidade
ICP	Índice de capacidade do processo
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
GL	<i>Glazed</i>
LC	Limite Central
LIC	Limite Inferior Central
LSC	Limite Superior Central
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
MASP	Método de Análise de Solução de Problemas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PDCA	<i>Plan - Do - Check - Act</i>
PEI	<i>Porcelain Enamel Institute</i>
PPM	Partes por milhão
SAC	Serviço de Atendimento ao Consumidor
UGL	<i>Unglazed</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapa 01: Eliminação de perdas	24
Figura 2 – Etapa 02: Eliminação das causas de perdas	24
Figura 3 – Etapa 03: Otimização de processo	25
Figura 4 - Ciclo PDCA	26
Figura 5 - Categorias dos custos da qualidade	29
Figura 6 – Esquema de definição de problema ou da oportunidade.....	30
Figura 7 - Detalhamento das fontes de variabilidade no Diagrama Causa Efeito	32
Figura 8 - Causas aleatórias e atribuíveis de variação.....	34
Figura 9 - Um tipo de gráfico de controle	35
Figura 10 - Modelo de gráfico de controle	36
Figura 11 - Processo capaz e não capaz	41
Figura 12 - Descrição de Processo capaz e não capaz.....	42
Figura 13 - Fluxograma do processo de fabricação cerâmica via úmida	51
Figura 14 - Ciclo de queima do forno	56
Figura 15 - Indústria analisada	62
Figura 16 - Organograma do setor de produção	63
Figura 17 - Pesagem da Matéria Prima	66
Figura 18 - Esteiras transportadoras da Matéria Prima	66
Figura 19 - Moinhos de preparação de massa	67
Figura 20 – Barbotina	67
Figura 21 - Fornalha	68
Figura 22 - Atomizador	68
Figura 23 - Prensas	69
Figura 24 - Secadores	69
Figura 25 - Esmaltação	70
Figura 26 - Máquina HD	70
Figura 27 – Fornos.....	71
Figura 28 - Ponto de cola.....	71
Figura 29 – Esquadrejadora	72
Figura 30 - Paletização	72
Figura 31 - Expedição.....	73

Figura 32 - Variação de tonalidade.....	83
Figura 33 - Disposição das peças no forno.....	84
Figura 34 - Diagrama causa-efeito	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação cerâmica	46
Quadro 2 - Grupos de absorção	48
Quadro 3 - Resistência ao manchamento	49
Quadro 4 - Resistência Ataque químico	49
Quadro 5 - Tipos de Moagem	53
Quadro 6 - Classificação cerâmica	54
Quadro 7 - Variáveis da pesquisa	60
Quadro 8 - Formatos e capacidade das linhas de produção	64
Quadro 9 - Formatos e capacidade das linhas de produção	73
Quadro 10 - Associação defeitos e setores	80
Quadro 11 - Análise do Índice Cpk	96
Quadro 12 - Alcance dos objetivos	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos da não-qualidade: Vendas de produtos tipo C	78
Tabela 2 - Custos qualidade tipo: Produtos tipo C	79
Tabela 3 - Principais reclamações do ano de 2016.....	79
Tabela 4 - Teste de normalidade para as médias dos processos por máquinas	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da capacidade produtiva no Brasil	20
Gráfico 2 - Principais produtores mundiais.....	50
Gráfico 3 - Índice de produção no ano de 2016	76
Gráfico 4 - Índice de qualidade no ano de 2016.....	77
Gráfico 5 - Índice de quebra no ano de 2016	77
Gráfico 6 - Gráfico de Pareto relacionando defeitos e setores	82
Gráfico 7 - Teste de normalidade Komolgorov-Smirnov.....	85
Gráfico 8 - Histograma comparativo das dimensões das peças.....	88
Gráfico 9 - Run Chart da Posição Lateral.....	90
Gráfico 10 - Carta de Controle (\bar{X} – R) da Posição Lateral	91
Gráfico 11 - Run Chart da Posição Meio	92
Gráfico 12 - Carta de Controle (\bar{X} – R) da Posição Meio.....	92
Gráfico 13 - Run Chart da Posição Comando	94
Gráfico 14 - Carta de Controle (\bar{X} – R) da Posição Comando.....	94
Gráfico 15 - Capacidade de Processo da Posição Lateral	97
Gráfico 16 - Capacidade de Processo da Posição Meio	98
Gráfico 17 - Capacidade de Processo da Posição Comando	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2	ELABORAÇÃO DE JUSTIFICATIVAS	20
1.3	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS	21
1.3.1	Objetivo geral	21
1.3.2	Objetivos específicos.....	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1	GESTÃO DA QUALIDADE – FOCO EM MELHORIA CONTÍNUA DOS PROCESSOS.....	23
2.1.1	Processos – foco em perdas e desperdícios.....	27
2.2	CUSTOS DA QUALIDADE	28
2.3	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO E CONTROLES	29
2.4	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS – CAUSAS DE VARIABILIDADE E MONITORAMENTO	31
2.4.1	VARIABILIDADE	32
2.4.2	MONITORAMENTO E GRÁFICOS DE CONTROLE	34
2.5	CAPACIDADE DO PROCESSO	38
2.5.1	Limites naturais, de especificação e de controle.....	39
2.5.2	Índices de capacidade.....	39
2.6	SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	42
2.6.1	Características dos sistemas de medição	43
2.6.2	Rastreabilidade metrológica.....	43
2.6.3	Repetitividade e reproduzibilidade	44

2.7	A INDÚSTRIA CERÂMICA	45
2.7.1	Panorama geral do setor	49
2.7.2	Processo de Fabricação cerâmica	50
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	58
3.1	NATUREZA DA PESQUISA.....	58
3.2	AMBIENTE E SUJEITOS DA PESQUISA	59
3.3	VARIÁVEIS DA PESQUISA.....	59
3.4	COLETA DE DADOS	60
3.5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	61
3.6	TRATAMENTO DOS DADOS.....	61
4	RESULTADOS	62
4.1	ESTUDO DE CASO	62
4.2	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CERÂMICA E PORCELANATO	65
4.3	INDICADORES DO PROCESSO PRODUTIVO E RECLAMAÇÕES DOS CLIENTES	75
4.3.1	Indicadores do processo produtivo	76
4.3.2	Custos da qualidade	78
4.3.3	Análise dos defeitos que apresentam maior incidência de reclamações e associação aos setores causadores	79
4.3.4	Setor a ser analisado.....	81
4.4.	MEDIÇÃO E ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO USANDO FERRAMENTAS DE CEP	83
4.4.1	Amostragem	83
4.4.2	Teste de normalidade	84
4.4.3	Histogramas comparativos	87
4.4.4	Análise dos gráficos de controle	88

4.4.5	Análise da capacidade de processo	95
4.5	CAUSAS DE VARIABILIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO E PROPOSTA DE MELHORIA DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO	99
5	CONCLUSÃO	103
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
5.2	ALCANCE DOS OBJETIVOS	104
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA A EMPRESA	105
5.4	SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS	105
	Apêndice A – relatório de observação participante	110
	Apêndice B – Entrevista de avaliação de falhas de processo e de produto	111
	Apêndice C – Ficha de verificação dimensional	112

1 INTRODUÇÃO

A qualidade dos produtos é um fator determinante na competitividade das empresas e sua sobrevivência no mercado. Um dos principais objetivos das organizações é diminuir os custos da produção, principalmente aqueles que estão relacionados a perdas e desperdícios. A redução dos custos com perdas no processo produtivo está diretamente relacionada a melhorias nos controles, a padronização e ao acompanhamento contínuo de todos parâmetros relacionados ao produto ou serviço em questão.

Para Moreira (2008), as decisões de onde, quando e como alterar detalhes do processo, com o objetivo de buscar melhorias no processo produtivo recaem sobre os responsáveis pelo gerenciamento do processo produtivo, e a eficiência na tomada das decisões está diretamente relacionada ao quanto bem estruturadas estão as informações que apoiam quem irá tomar as devidas decisões.

Atualmente o público consumidor busca cada vez mais a qualidade nos produtos adquiridos, aliada a preços baixos, vida útil e adequação ao uso. Para que uma empresa consiga se manter no mercado, a garantia da qualidade tornou-se uma vantagem competitiva e um pré-requisito básico para a satisfação do cliente.

De acordo com Paladini (2012), o esforço para agregar qualidade ao processo produtivo gerou uma nova era no esforço pela qualidade. Criaram-se, a partir daí, novas prioridades e novas posturas gerenciais. A Gestão da Qualidade no processo, definida como o direcionamento de todas as ações do processo produtivo para o pleno atendimento do cliente.

Crosby (1994) definiu qualidade em termos resumidos, ao conceituá-la como “qualidade é a conformidade com os requisitos”. De tal modo, se um produto atende todos os requisitos e se está de acordo com seu modelo-padrão, ele é um produto de qualidade.

A metodologia de controle através do Controle Estatístico de Processo (CEP), dentro do campo de Administração da Produção, insere uma maior facilidade em encontrar anomalias significativas no processo, que exigem a tomada de ação, bem como permitem a avaliação dos controles de processo de forma visível, clara e objetiva (CORRÊA e CORRÊA, 2012).

Sob esta perspectiva, o CEP é fundamentado nos conceitos de variabilidade e qualidade. É considerado um recurso que proporciona o acompanhamento e monitoramento do processo produtivo, através de especificações e/ou variáveis de controle previamente determinadas. Sua visualização é facilitada através de gráficos de controle onde estão ilustrados o desempenho das variáveis analisadas, permitindo a tomada de decisões a partir da

aplicação de ferramentas estatísticas, sendo identificadas as variabilidades significativas no processo, que demandam avaliações e ações corretivas a partir de controles claros e objetivos.

Segundo Costa et al. (2008), a expressão variabilidade do processo está associada as diferenças presentes entre as unidades produzidas em um mesmo processo. Se a variabilidade em questão for grande, as alterações entre as unidades serão observadas com facilidade, no entanto, se esta variação for pequena, as diferenças serão praticamente imperceptíveis. Deste modo, pode-se concluir que dentro da linha de produção, é comum ter a impressão que todos os produtos fabricados são exatamente iguais. Contudo, apenas uma análise concisa é suficientemente capaz de mostrar que os produtos obtidos pelo mesmo processo possuem suas pequenas distinções.

Portanto, as ferramentas estatísticas serão utilizadas para monitorar um único parâmetro, com a finalidade de reduzir descentralização e dispersão da variável selecionada com intuito estabilizar todo o sistema.

Diante do exposto, o gerenciamento do controle de qualidade no processo influencia diretamente na incidência de reclamações dos clientes, tendo em vista que há um alto volume de produção, e que as perdas do processo estão associadas a aumento de custos, consequentemente ao aumento do preço do produto, percebe-se a necessidade de um estudo mais aprofundado acerca deste tema.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Este estudo foi realizado numa indústria de cerâmica e porcelanato, situada na cidade de João Pessoa-PB, nos setores de Produção e Qualidade. A empresa atua no mercado a mais de três décadas, atendendo tanto ao mercado nacional quanto internacional, sendo parte de um grupo de capital nacional e familiar, produzindo insumos para a cadeia produtiva da construção civil, tendo plantas fabris de mineração, cimento, cerâmica e porcelanato, nas regiões Nordeste e Sul do Brasil. A unidade industrial objeto deste estudo possui aproximadamente 420 funcionários.

O presente trabalho terá como foco principal o uso do CEP para monitorar a variabilidade do processo de fabricação de cerâmica e porcelanato.

A análise será restrita as dimensões do porcelanato 61x61 após a sinterização (queima) produzida pela indústria analisada, fatores considerados bastante importantes, pois podem apresentar considerável variação impactando de forma significativa na qualidade do produto.

O estudo é embasado na aplicação do controle estatístico de processo, fazendo uso do controle estatístico da qualidade podendo ser empregados em todo o processo produtivo da cerâmica e porcelanato, com o objetivo de se obter a padronização da fabricação, aumentando os níveis de qualidade e confiabilidade, ou seja, serão identificados os itens que possuem grande impacto no processo e que podem ter grande variabilidade, de modo a reduzir ou eliminar os possíveis gargalos.

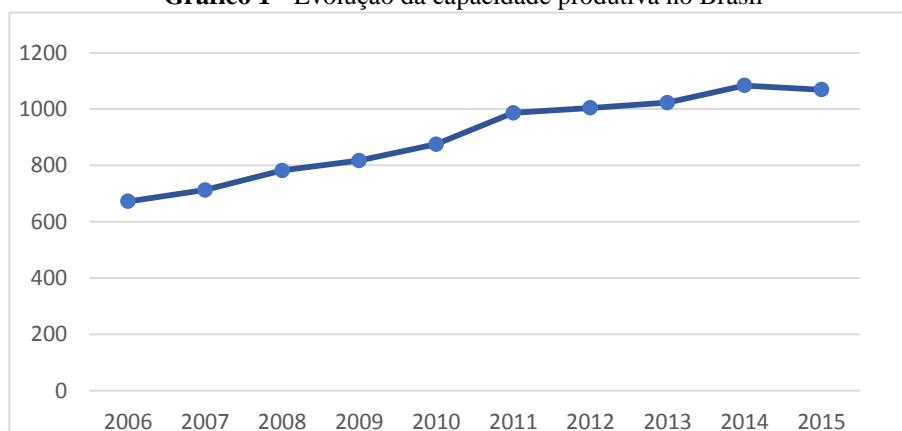
Diante do contexto apresentado, incluindo diversos fatores potenciais de causas de variabilidade no processo de fabricação de porcelanato, sobretudo na etapa de sinterização, especialmente com o produto de dimensão 61X61 cm, que representa aproximadamente 40% do portfólio da empresa objeto de estudo e é o produto que mais apresentou reclamações por parte dos clientes no ano de 2016, a presente pesquisa visa responder ao seguinte problema:

Como o Controle Estatístico de Processo pode contribuir no monitoramento da variabilidade do processo de fabricação do porcelanato?

1.2 ELABORAÇÃO DE JUSTIFICATIVAS

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (ANFANCER), o setor brasileiro de revestimentos cerâmicos é composto por 92 empresas, com maior incidência nas regiões Sudeste e Sul e em crescimento no Nordeste do país. É o segmento produtivo de capital basicamente nacional, é também um amplo gerador de empregos, com aproximadamente 27 mil postos de trabalho diretos e 200 mil indiretos ao longo de sua cadeia produtiva. O gráfico a seguir retrata a evolução da capacidade produtiva no Brasil de revestimentos cerâmicos em milhões de metros quadrados dos anos de 2006 a 2015.

Gráfico 1 - Evolução da capacidade produtiva no Brasil



Fonte: Adaptado do site da ANFACER (2017)

Cada vez mais surge a necessidade de adequação do setor cerâmico com novas tecnologias para acompanhar as tendências de mercado e satisfazer as expectativas dos consumidores tanto em preços acessíveis, quanto em qualidade, buscando sempre está em conformidade com as normas internacionais e também sendo competitivas no mercado.

O controle estático da qualidade propõe entender e explicar os aspectos que causam variabilidade no processo, ou seja, identificar as causas especiais com intuito de corrigi-las, de modo a obter um controle mais preciso e eficaz de todo o processo de fabricação do porcelanato. Portanto, devido a necessidade de verificar a dispersão das dimensões das peças, após o processo de sinterização, esta pesquisa tem como justificativa a aplicação do CEP, com o propósito de compreender como o monitoramento e controle das dimensões das peças do Porcelanato influenciam na incidência da variação da tonalidade, sendo esta a maior causa de reclamação no ano de 2016.

Tal estudo é importante, pois poderá ser utilizado como alicerce para o uso da sistemática de controle via CEP, conferindo ao leitor a compreensão da sistemática de aplicação e funcionamento do CEP, como também a importância do uso deste sistema em âmbito industrial não só para o setor de fornos, sendo aplicável para todos os outros setores, servindo como ferramenta bastante útil para a tomada de decisões.

A análise não depende do período analisado, visto que a ênfase será a relação entre a metodologia de controle de processo adotada atualmente na prática e a metodologia que é definida no sistema de acompanhamento a partir do Controle Estatístico de Processo.

A prática deste estudo é viável, pois há uma vasta bibliografia sobre o CEP, permitindo um bom entendimento sobre o assunto, e também possibilitando o acesso a dados reais do processo por parte do elaborador da pesquisa.

1.3 DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS

Para consecução de respostas ao problema delimitado na pesquisa foram definidos objetivos, tanto geral quanto específicos.

1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como principal objetivo analisar a contribuição do Controle Estatístico de Processo no monitoramento da variabilidade do processo de fabricação do porcelanato em uma Indústria de Cerâmica e Porcelanato.

1.3.2 Objetivos específicos

Para subsidiar o alcance do objetivo geral, desdobrou-se este em objetivos específicos, retratando a aplicação do CEP na Indústria Cerâmica pesquisada, no setor de fornos, com intuito de averiguar a dispersão das dimensões das peças cerâmicas e as causas da variabilidade do processo estudado. Foram avaliadas as causas e os efeitos gerados a partir da aplicação do CEP, em detrimento à qualidade do produto e do processo, desdobrados nos seguintes objetivos específicos:

- a) Conhecer o fluxo de processo de fabricação, visando a compreensão das características técnicas do processo cerâmico e/ou de porcelanato;
- b) Levantar os principais indicadores de qualidade do processo produtivo e as ocorrências de reclamações dos clientes associando aos setores diretamente relacionados ao problema técnico, visando a priorização da área de intervenção da pesquisa;
- c) Aplicar as ferramentas do CEP no processo selecionado, visando identificar as possíveis causas de variação no processo e no produto;
- d) Analisar os resultados obtidos após aplicação do CEP, visando a construção de um plano de melhoria de processo, de modo a mitigar as causas de variabilidade do processo estudado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho de conclusão de curso foi estruturado em cinco capítulos. No primeiro é explanada a introdução, problemática a ser tratada, objetivo geral e específicos e também é destacada a justificativa para o desenvolvimento desta monografia.

No segundo capítulo o referencial teórico na qual a pesquisa é embasada, ou seja, foi realizada uma revisão de literatura, apresentando os conceitos básicos de qualidade e controle estatístico de processo, baseando-se em diversos autores referenciais nos temas abordados.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, quanto a sua classificação: natureza, meios e forma de abordagem. Também são definidos os instrumentos de coletas de dados, tratamento e caracterização da amostra.

A análise da pesquisa é apresentada no quarto capítulo, são realizadas as avaliações dos dados fundamentando a situação problema abordada. O quinto e último capítulo apresenta as considerações finais, respondendo a problemática sugerida no estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão explanados conceitos fundamentais, relacionados à qualidade, controle estatístico do processo, como também questões relacionadas ao problema específico do trabalho, referentes a indústria cerâmica.

Com o objetivo de analisar os estudos já realizados de aplicação do CEP, este capítulo também apresenta uma revisão de literatura com relação as distintas abordagens de aplicações das ferramentas do CEP. Serão destacados conceitos como gráficos de controle, histograma e índices de capacidade.

2.1 GESTÃO DA QUALIDADE – FOCO EM MELHORIA CONTÍNUA DOS PROCESSOS

Para Carpinetti e Gerolamo (2016), a gestão da qualidade pode ser entendida como uma estratégia competitiva cujo objetivo principal se divide em duas partes: conquistar mercados e reduzir desperdícios. O cliente insatisfeito pode resultar em má reputação, dificuldade de conseguir novos pedidos, perda de faturamento e dificuldade de se manter no negócio.

Carpinetti e Gerolamo (2016) corroboram que o objetivo da gestão da qualidade é melhorar a eficiência do negócio, reduzindo os custos da não qualidade e outros desperdícios, é importante para dar suporte a uma estratégia de redução de custos, podendo utilizada pelas organizações como uma alavanca à sua estratégia competitiva de conquistar mercados e reduzir desperdícios.

Para Feigenbaum *apud* Coral (1996), a qualidade é o atendimento das necessidades do cliente, e não a de outros departamentos como por exemplo da engenharia, marketing e alta direção. A qualidade deve estar baseada na experiência do cliente com o produto e o serviço, avaliados através das necessidades percebidas que representem uma meta num mercado competitivo.

Um roteiro prático para viabilizar a Gestão da Qualidade no processo envolve a implantação de atividades agrupadas em três etapas: a eliminação de perdas; a eliminação das causas das perdas e a otimização do processo (PALADINI *apud* PALADINI, 2012).

A Figura 2, descrita a seguir, resume as características de cada etapa:

Figura 1 – Etapa 01: Eliminação de perdas

Eliminação de perdas	
Atividades Características	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminação de defeitos, refugos e retrabalho. 2. Emprego de programas de redução dos erros da mão de obra. 3. Esforços para minimizar custos de produção. 4. Eliminação de esforços inúteis (como reuniões inconclusivas).
Natureza das Ações	<ul style="list-style-type: none"> → Corretivas (visam eliminar falhas do sistema). → Ações direcionadas para elementos específicos do processo. → Alvo: limitado, bem definido. → Resultados: imediatos.
Prioridade	Minimizar desvios da produção.
Observações	<ul style="list-style-type: none"> → Não se acrescenta nada ao processo. → Eliminam-se desperdícios.

Fonte: Paladini (2012)

Figura 2 – Etapa 02: Eliminação das causas de perdas

Eliminação das causas de perdas	
Atividades Características	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudo das causas de ocorrência de defeitos ou de situações que favorecem seu aparecimento. 2. Controle estatístico de defeitos (exemplo: frequência de detecção relacionada a ambiente ou a condições de ocorrência). 3. Desenvolvimento de projetos de experimentos voltados para a relação entre causas e efeitos. 4. Estruturação de sistemas de informações para monitorar a produção e avaliar reflexos, no processo, de ações desenvolvidas (como eliminar estoques para compensar perdas de peças).
Natureza das Ações	<ul style="list-style-type: none"> → Preventivas. → Ênfase: eliminar causas de falhas do sistema. → Meta: corrigir o mau uso dos recursos da empresa. → Ações direcionadas para áreas ou etapas do processo de produção, setores da fábrica ou grupos de pessoas. → Alvo: obter níveis de desempenho do processo produtivo em função de ações que foram desenvolvidas. → Resultados: médio prazo.
Prioridade	Evitar situações que possam conduzir a desvios da produção, eliminando-se elementos que a prejudiquem e gerando-se condições mais adequadas para seu funcionamento normal.
Observações	<ul style="list-style-type: none"> → Aqui, considera-se perda toda e qualquer ação que não agraga valor ao produto (perda = qualquer ação que não aumente a adequação do produto a seu uso efetivo). → Esta etapa requer atividades de difícil implantação e de avaliação mais complexa, mas aqui pode-se visualizar se estão ocorrendo melhorias em termos da qualidade.

Fonte: Paladini (2012)

Figura 3 – Etapa 03: Otimização de processo

Otimização do processo	
Atividades Características	<ol style="list-style-type: none"> 1. Novo conceito da qualidade, eliminando a ideia de que qualidade é a falta de defeitos mas, sim, a adequação ao uso. 2. Aumento da produtividade e da capacidade operacional da empresa. 3. Melhor alocação dos recursos humanos da empresa. 4. Otimização dos recursos da empresa (como materiais, equipamentos, tempo, energia, espaço, métodos de trabalho ou influência ambiental). 5. Adequação crescente entre produto e processo; processo e projeto e projeto e mercado. 6. Estruturação de sistemas de informações para a qualidade.
Natureza das Ações	<ul style="list-style-type: none"> → Atividades destinadas a gerar resultados benéficos à organização de forma permanente. → Resultados de longo prazo. → Ações abrangentes, dirigindo-se para todo o processo (alvo a atingir). → Atuação tanto em termos de resultados individuais de áreas, grupos de pessoas ou setores, como na interface entre eles, enfatizando contribuições (individuais ou coletivas) para o resultado global do processo.
Prioridade	Definir potencialidades da produção, enfatizando o que o processo tem de melhor hoje e o que é capaz de melhorá-lo ainda mais.
Observações	<ul style="list-style-type: none"> → Esta é a única etapa que agrega, efetivamente, valor ao processo e, consequentemente, ao produto.

Fonte: Paladini (2012)

A Gestão da Qualidade no processo caracteriza-se por alterações no processo produtivo para atingir objetivos bem definidos (PALADINI, 2012). Para alcançá-los, deve-se construir e conduzir a gestão dos processos e resultados com base na melhoria contínua

2.1.1 Melhoria contínua

A melhoria contínua pode ser utilizada para obter melhorias em qualquer das dimensões de negócios, contribuindo com fatores básicos que contribuem para que a organização possa reduzir seus custos, tempo, podendo trabalhar

com flexibilidade e maior segurança, e principalmente melhorando seu serviço (COTEC, 1999 p.135-141).

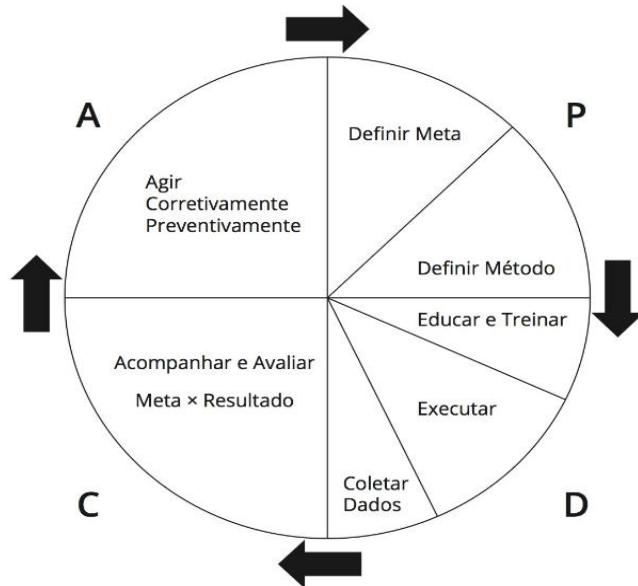
De acordo com Kume (1993), a Metodologia para Análise e Solução de Problemas (MASP), é um procedimento comumente utilizado para análise e solução de problemas.

Para Campos (1992), a aplicação do ciclo PDCA confere a atividades sucessivas, nos processos de planejamento da melhoria, execução, verificação e padronização ou atuação das atividades.

Rambaud (2006) define que esta metodologia possui oito disciplinas: D1: Montar a equipe; D2: Descrever os problemas; D3: Implementar e verificar as ações interinas de contenção do problema; D4: Identificar e verificar a causa raiz; D5: Eleger e verificar as ações corretivas; D6: Aplicar e validar as ações corretivas permanentes em execução; D7: Prevenir a repetição do problema; D8: Congratular a equipe.

Segundo Tubino (2015), uma das aplicações mais difundidas dos PDCA, é o MASP (método de análise e solução de problemas), onde este ciclo é dividido em oito etapas: identificação do problema, observação, análise e plano de ação (*Plan*), ação (*Do*), verificação (*Check*), padronização e conclusão (*Act*). Também aqui, o método em si não é o mais importante, dado que todos têm o viés do PDCA e vão permitir a melhoria contínua.

Figura 4 - Ciclo PDCA



Fonte: Tubino (2015)

Campos (2004) conclui que estes métodos consistem fundamentalmente em identificar o problema, observar, extraír dados, medir ou registrar as causas identificadas,

ordená-las, estudá-las, compará-las, selecioná-las, elaborar um plano de ação, executá-lo, checá-lo e tomar ações corretivas ou de padronização, deste modo obtém-se a resolução do problema.

Para Kume (1993), um problema pode ser resolvido conforme as sete seguintes etapas: Identificação do problema; Observação (reconhecimento dos aspectos do problema); Análise (Descoberta das principais causas); Ação (ação para eliminar as causas); Verificação: (verificação da eficácia da ação); Padronização: (eliminação definitiva das causas; Conclusão: (revisão das atividades e planejamento para o trabalho futuro). Desta maneira, se estas sete etapas forem entendidas e implantadas nesta sequência, as atividades de melhoria serão logicamente consistentes, e os resultados acumulados de forma regular.

2.1.2 Processos – foco em perdas e desperdícios

Horngren *apud* Robles Jr, (2009) define que refugo é a produção que não atende a padrões dimensionais ou de qualidade e é refugado e vendido por seu valor de disposição.

Desperdício é o material que ou se perde, ou evapora, ou se encolhe, ou é resíduo que não tem valor de recuperação mensurável; exemplo: gases, poeira, fumaça, resíduos invendáveis. (HORNGREN *apud* ROBLES JR, 2009)

De acordo com Tubino (2015), os desperdícios, são em geral classificados em oito categorias: superprodução, estoque, defeitos, transporte, movimento improdutivo, espera, processamento desnecessário (esses são os ditos sete desperdícios de Shingo) e intelectual.

Os desperdícios de superprodução ocorrem quando produzimos mais do que o necessário (superprodução quantitativa) ou quando produzimos muito antes do que o necessário (superprodução temporal) para atender a demanda do momento (TUBINO, 2015).

Segundo Tubino (2015), os desperdícios de estoque geram como necessidade de armazenagem adicional é a utilização de espaços físicos de fábrica, para guardar os materiais, bem como sistemas de controle e pessoas envolvidas nesse processo. Além desses custos diretos, deixar materiais parados durante muito tempo pode gerar problemas de qualidade.

Tubino (2015) define que a movimentação de lotes de produtos entre máquinas e departamentos, ou entre locais de armazenagem, não agrega nenhum valor para o cliente, e é um tipo de desperdício inerente aos processos produtivos repetitivos em lotes, nos quais o compartilhamento de máquinas em departamentos é o layout mais usual.

O desperdício de espera é aquele tempo que o produto passa na fábrica sem ser processado, movimentado ou inspecionado, portanto, não se está agregando nenhum valor para o cliente (TUBINO, 2015).

De acordo com Tubino (2015), os desperdícios de processamentos desnecessário acontecem quando as instruções de trabalho não são claras ou não existem, ou quando os requisitos dos clientes (internos ou externos) não estão bem definidos, ou até quando as especificações de qualidade estão mais rigorosas do que realmente são necessárias, surge o que se chama de desperdícios de processamentos desnecessários.

Os desperdícios de movimentos improdutivos são decorrentes da desorganização do ambiente de trabalho e da movimentação desnecessária dos operadores (TUBINO, 2015).

Os desperdícios de elaborar produtos defeituosos podem vir de procedimentos incorretos, de lotes econômicos muito grandes que escondem os problemas, ou então, de equipamentos desregulados sem manutenção. A solução convencional para isso é a inspeção por amostragem, que não garante 100% de qualidade, e leva a clientes (internos e externos) insatisfeitos, identificação tardia dos problemas, produtos rejeitados e retrabalhos com atrasos em cascata na produção (TUBINO, 2015).

Para Tubino (2015), o oitavo tipo de desperdício é o intelectual tem como consequência desse não aproveitamento intelectual tem-se a identificação tardia dos problemas, a geração de produtos defeituosos e retrabalhos e a experiência das pessoas desperdiçadas.

2.2 CUSTOS DA QUALIDADE

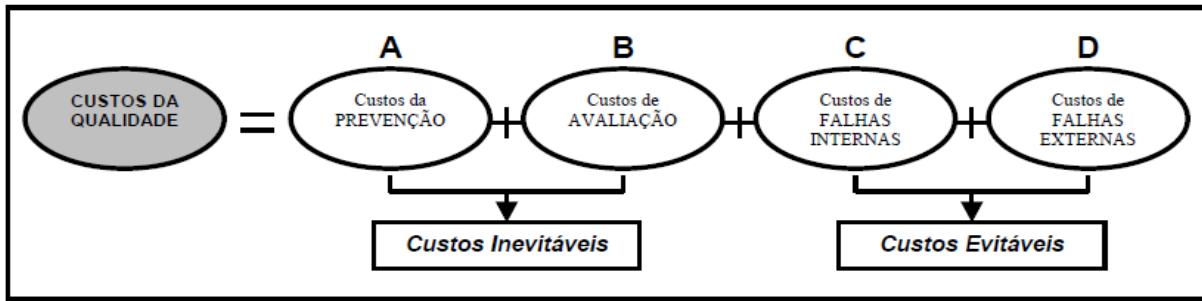
Juran *apud* Mattos & Toledo (1998) definem os denominados custos de prevenção e de avaliação como "custos inevitáveis" e os custos de falhas (de origem internas e externas) como "custos evitáveis", que poderiam ser reduzidos de maneira drástica ao investir na melhoria da qualidade.

Mattos (1998) define os custos da qualidade como qualquer tipo de despesas de fabricação ou de serviço que extrapolam aquelas despesas que teriam acontecido caso o produto (ou serviço) tivesse sido fabricado (ou prestado) com perfeição logo na primeira vez.

Para Mattos & Toledo (1998), os custos da qualidade podem facilmente ser representados pelo somatório dos custos de suas quatro categorias: custos de prevenção,

custos de avaliação, custos de falhas internas e custos de falhas externas. Conforme figura seguir.

Figura 5 - Categorias dos custos da qualidade



Fonte: Mattos & Toledo (1998)

Feigenbaum (1994) também classifica os custos da qualidade: custos do controle e custos de falhas no controle. Esses grupos se subdividem, em segmentos. Os custos do controle são segregados em custos da prevenção e custos da avaliação, enquanto os custos de falhas no controle são separados em custos de falhas internas e custos de falhas externas.

Os custos operacionais da qualidade são os custos associados à definição/planejamento, criação e controle da qualidade, assim como à avaliação e realimentação da conformidade com exigência em requisitos de desempenho, confiabilidade, segurança; e também custos associados às consequências provenientes de falhas, em atendimento a essas exigências, tanto internamente à empresa quanto nas mãos dos clientes" (FEIGENBAUM,1994).

2.3 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO E CONTROLES

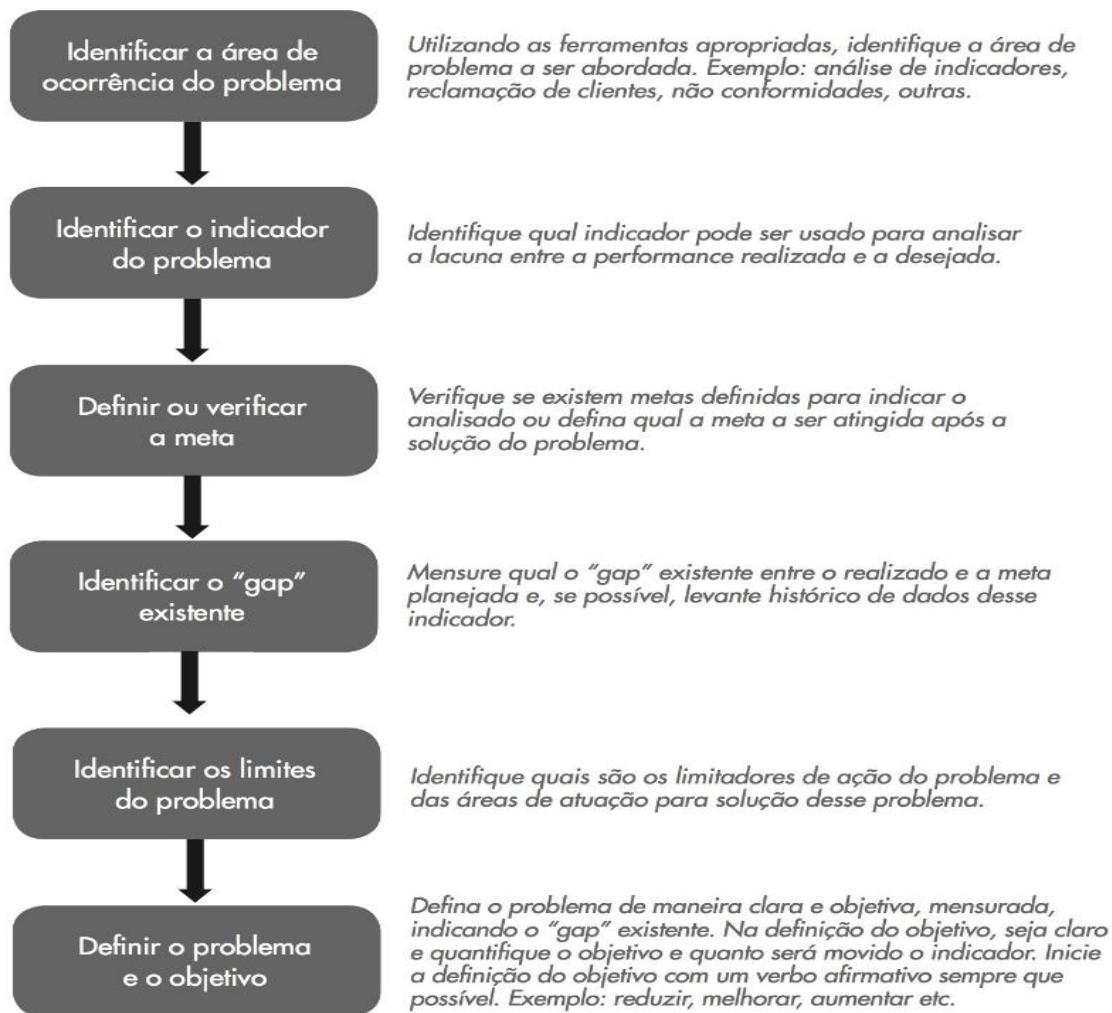
Machado (2010), define indicadores como informações que permitem avaliar o desempenho dos processos, serviços, produtos e da organização como um todo, por meio de medições quantitativas. São uteis para o acompanhamento, o monitoramento e a avaliação de ações ou projetos.

De acordo com Machado (2010), as metas são direcionadoras para ações e os planejamentos. Podendo ser definida através de cinco variáveis: especificidade, mensurabilidade, exequibilidade, relevância e tempo.

Neely et al. (1995) apresentam a medição de desempenho como um processo que é utilizado para quantificar a ação, onde a medição é o processo de quantificação da eficiência e eficácia e a ação é o objeto gerador do desempenho.

Um sistema de medição de desempenho permite que as decisões sejam tomadas e as ações sejam realizadas, e assim, quantifica a eficiência e a eficácia de ações passadas por meio da aquisição, coleta, classificação, análise, interpretação e disseminação de dados apropriados (NEELY, 1998).

Figura 6 – Esquema de definição de problema ou da oportunidade



Fonte: Machado (2016)

Kennerly et al. (2003), asseguram que o sistema de medição de desempenho pode ser definido como a correlação de três elementos distintos: medidas singulares que quantificam o impacto de ações específicas, um conjunto de medidas que são combinadas para avaliar o desempenho da organização como um todo, e uma infraestrutura de suporte que permite que dados sejam obtidos, coletados, classificados, analisados, interpretados e disseminados para o uso gerencial.

2.4 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS – CAUSAS DE VARIABILIDADE E MONITORAMENTO

Montgomery (2016), define estatística como um conjunto de técnicas úteis para a tomada de decisão sobre um processo ou população, baseando-se na análise da informação que está contida em uma amostra da população que está sendo estudada. Os métodos estatísticos exercem papel essencial no controle e na melhoria da qualidade. Eles oferecem os principais meios pelos quais produtos são amostrados, testados e avaliados, e a informação que estão nesses dados é utilizada para o controle e melhoria do processo e do produto.

De acordo com Ribeiro e Caten (2012), o principal objetivo do CEP é possibilitar um controle eficaz da qualidade, que pode ser feito pelo operador em tempo real. Esta atitude aumenta o compromisso do operador fazendo com que ele se empenhe com a qualidade do que está sendo produzido e libera a gerência para as tarefas de melhoria.

Para Montgomery (2016), O CEP é um dos maiores desenvolvimentos tecnológicos do século vinte porque se baseia em sólidos princípios, é de fácil uso, tem impacto significante e pode ser aplicado a qualquer processo. Suas sete principais ferramentas são: Histogramas ou diagrama de ramo-e-folhas; Folha de controle; gráfico de Pareto; Diagrama de causa-e-efeito; Diagrama de concentração de defeito; Diagrama de dispersão e Gráfico de controle.

O CEP constrói um ambiente no qual todos os indivíduos em uma organização desejam a melhora continuada na qualidade e na produtividade. Esse ambiente se desenvolve melhor quando a gerência se envolve no processo. Uma vez estabelecido esse ambiente, a aplicação rotineira das sete ferramentas se torna parte usual da maneira de se fazerem negócios, e a organização se direciona para a obtenção de seus objetivos de melhoria da qualidade (MONTGOMERY, 2016).

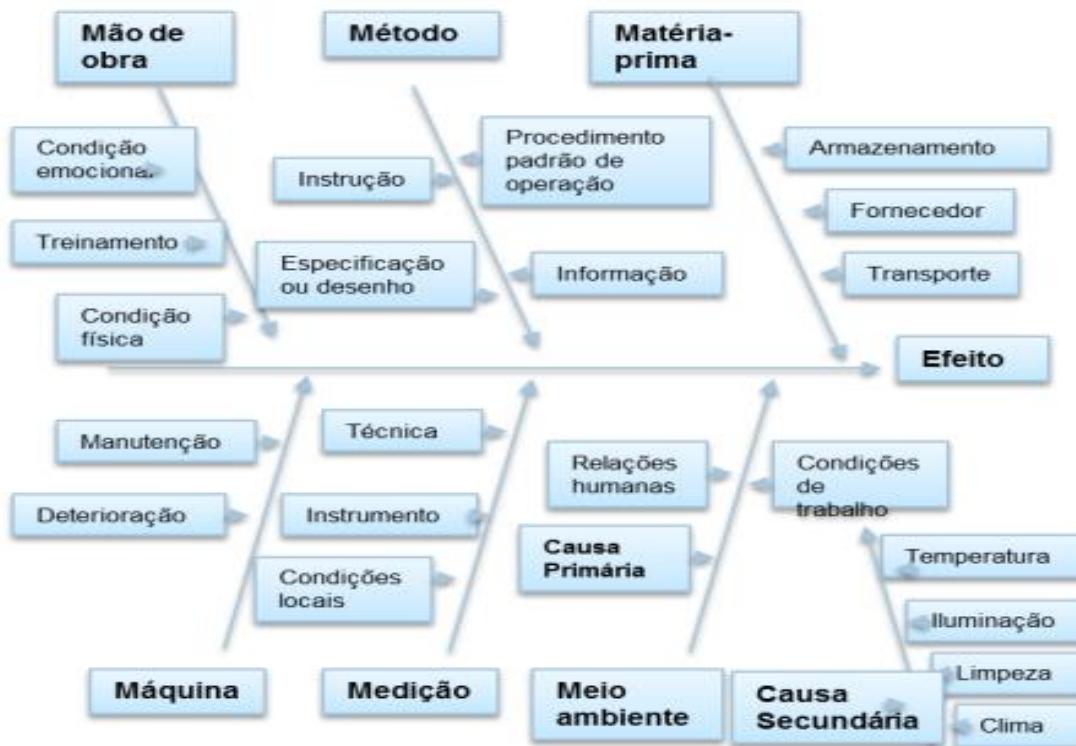
Segundo Ribeiro e Caten (2017) O CEP confere o monitoramento das características escolhidas, assegurando que elas irão se manter dentro de limites previamente determinados e indicam quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria. É de extrema importância ressaltar que a detecção dos defeitos deve ser feita o mais cedo possível, para impedir a adição de matéria-prima e mão-de-obra a um produto defeituoso.

O CEP objetiva aumentar a capacidade dos processos, reduzindo refugo e retrabalho, e, por consequência, o custo da má qualidade. Assim, ele proporciona às empresas a base para

melhorar a qualidade de produtos e serviços e, simultaneamente, reduzir substancialmente o custo da má qualidade (RIBEIRO e CATEN, 2012).

Para Ribeiro e Caten (2012), o controle da qualidade depende de quatro elementos fundamentais, que constituem um sistema de controle do processo: Mão de Obra, Método, Matéria-prima, Máquina, Medição, Meio Ambiente e Causas secundárias.

Figura 7 - Detalhamento das fontes de variabilidade no Diagrama Causa Efeito



Fonte: Ribeiro e Caten (2012)

Ribeiro e Caten (2012), corroboram que, o processo em si é uma combinação de equipamentos, insumos, métodos, procedimentos e pessoas, tendo como objetivo a fabricação de um bem ou o fornecimento de um serviço (efeito).

2.4.1 Variabilidade

Segundo Montgomery (2016), estatística é a ciência de análise de dados e de extração de conclusões, levando em conta a variação nos dados. O controle estatístico do processo (CEP) é uma poderosa coleção de ferramentas de resolução de problemas útil na obtenção da estabilidade do processo e na melhoria da capacidade através da redução da variabilidade.

Para Carpinetti et al. (2016), todo e qualquer processo por mais bem projetado e bem controlado que seja, possui em sua variabilidade um componente impossível de ser eliminado. Trata-se da variabilidade natural do processo, que é fruto de uma série de algumas pequenas perturbações ou causas aleatórias, contra as quais pouco ou nada pode se fazer.

Para Montgomery (2016), em qualquer processo produtivo, independentemente de estar bem planejado existirá, certa quantidade de variabilidade intrínseca ou natural sempre existirá. Essa variabilidade natural, que nasce a partir do efeito cumulativo de várias causas pequenas, essencialmente inevitáveis.

Para Carpinetti et al. (2016), quando o processo apresenta apenas a variabilidade natural, devido às causas aleatórias, pode-se dizer que ele está no estado de controle estatístico, ou simplesmente em controle.

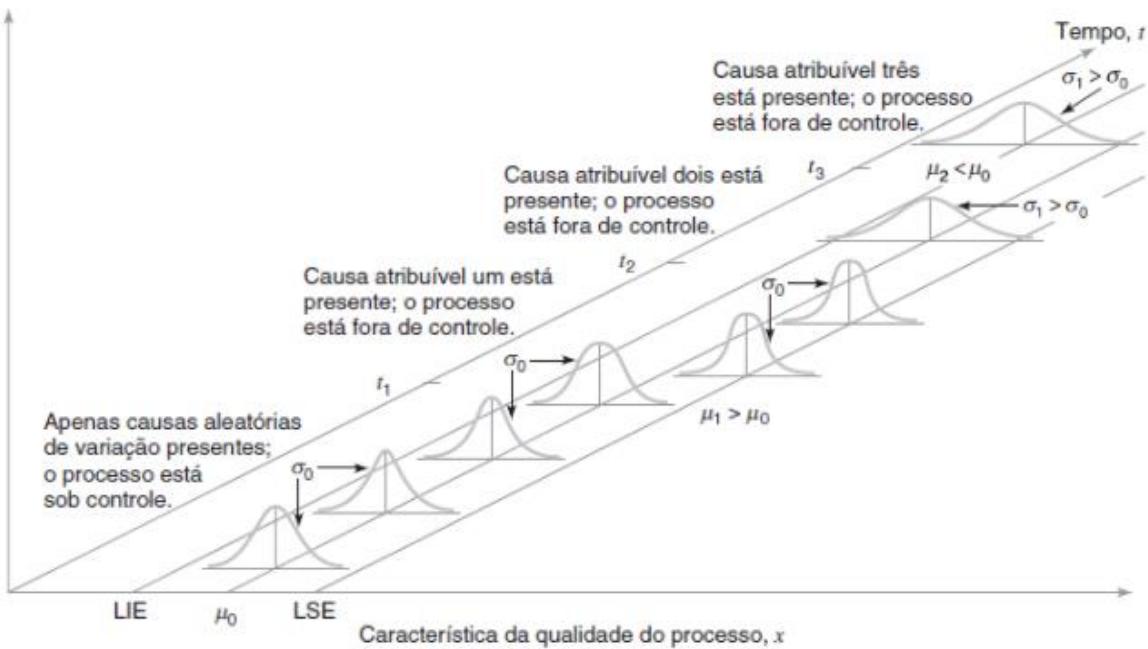
No sistema do controle estatístico da qualidade, essa variabilidade natural é, em geral, chamada de “sistema estável de causas aleatórias”. Diz-se que um processo que opera apenas com as causas aleatórias da variação está sob controle estatístico. Em outras palavras, as causas aleatórias são uma parte inerente ao processo (MONTGOMERY, 2016).

Para Costa et al. (2005), todo e qualquer processo pode sofrer perturbações maiores, que são chamadas de causas especiais, estas podem deslocar a distribuição da variável aleatória X e/ou aumentar sua dispersão.

Para Carpinetti et al. (2016), uma causa especial é um problema ou um modo de operação anormal do processo, que pode, portanto, ser corrigido ou eliminado. As causas especiais, são sempre possíveis de eliminar, certos casos, contudo, demandam correções significativas no processo. Quando além das causas aleatórias de variabilidade, causas especiais estiverem presentes, pode-se afirmar que o processo está fora de controle.

Montgomery (2009) ressalta que os processos de produção, quase sempre realizarão as operações livres de causas especiais por períodos de tempos proporcionalmente longos. Todavia, poderão surgir causas especiais, provocando distúrbios no processo. Pode-se perceber na ilustração a seguir, as oscilações de um processo ao longo do tempo, saindo de uma zona sob controle para fora de controle estatístico.

Figura 8 - Causas aleatórias e atribuíveis de variação



Fonte: Montgomery (2009, p. 130)

De acordo com Louzada et al. (2013), o interesse inicial do CEP está ligado ao monitoramento da variabilidade. A partir do momento em que se verifica que essa variabilidade é constante ao longo do tempo, realiza-se então o controle da média do processo. Posteriormente, a partir de amostras que possuem a média e a variabilidade constantes ao longo do tempo, quantifica-se a capacidade do processo de atender às especificações do cliente.

2.4.2 Monitoramento e gráficos de controle

Para Carpinetti et al. (2016), os processos devem ser permanentemente monitorados, para detectar se aumentam sua dispersão e/ou tiram sua média do valor alvo. Após detectada esta presença, é necessário proceder uma investigação para identificar as causas especiais e intervir para eliminá-las.

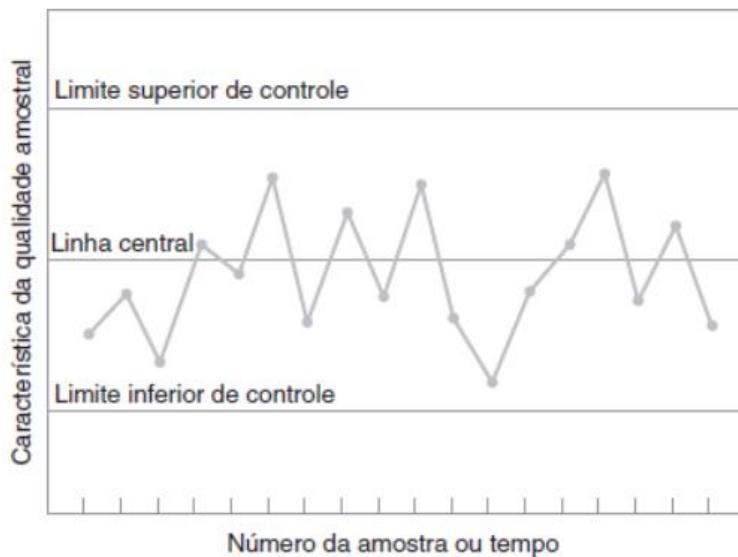
Gráficos de controle são normalmente planejados e analisados pressupondo que as observações consecutivas do processo sejam independentes e identicamente distribuídas, entretanto na prática esta hipótese é frequentemente violada, pois a maioria dos processos apresenta autocorrelação (Claro et al., 2007).

Os gráficos de controle para dispersão do processo têm como objetivo principal o monitoramento da variabilidade dentro da amostra (RAMOS, 2013).

De acordo com Montgomery (2016), o gráfico de controle é um artifício para se descrever, de maneira precisa, o que se entende por controle estatístico; como tal, ele pode ser usado de várias maneiras. Em muitas aplicações, ele é usado para a vigilância ou monitoramento on-line de processos.

O gráfico contém uma **linha central**, representando o valor médio da característica da qualidade que corresponde ao estado sob controle. (Isto é, apenas as causas aleatórias estão presentes.) Duas outras linhas horizontais, chamadas de **limite superior de controle (LSC)** e **limite inferior de controle (LIC)**, são também mostradas no gráfico. Esses limites de controle são escolhidos de modo que, se o processo está sob controle, praticamente todos os pontos amostrais estarão entre eles. Contanto que os pontos estejam entre os limites de controle, o processo é considerado sob controle, e não é necessária nenhuma ação. No entanto, um ponto que caia fora dos limites de controle é interpretado como evidência de que o processo está fora de controle, e investigação e ação corretiva são necessárias para se encontrar e eliminar a causa ou causas atribuíveis responsáveis por esse comportamento (MONTGOMERY, 2016, p. 131).

Figura 9 - Um tipo de gráfico de controle



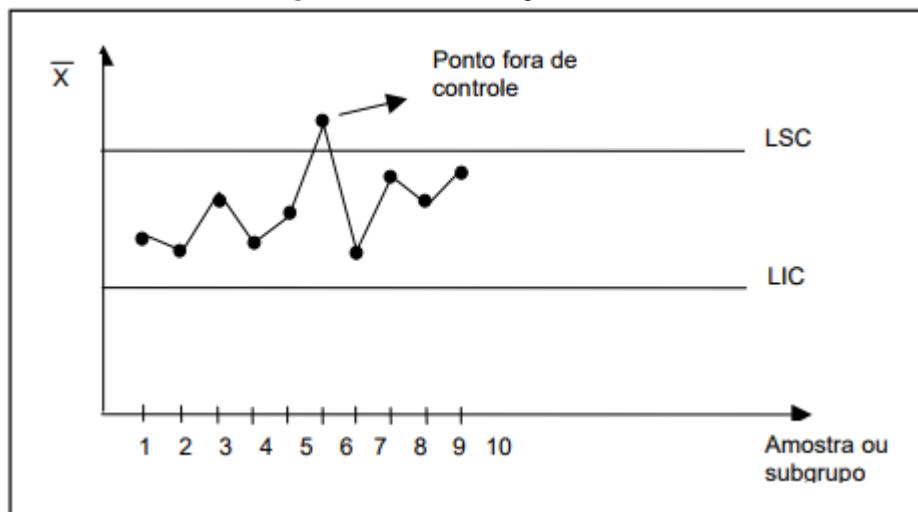
Fonte: Montgomery (2009, p. 131)

Segundo Deming (1990), o emprego dos gráficos de controle, diferentemente da inspeção após a produção, permite o controle da qualidade no momento da manufatura, permitindo um maior controle expondo um enfoque na detecção dos defeitos e ação corretiva imediata, caso alguma falha seja detectada. De modo a impedir a saída de produtos com falhas, pode ser considerado como um artifício de caráter preventivo.

Os gráficos de controle distinguem a variabilidade aleatória da não-aleatória. A base do gráfico de controle é a distribuição amostral, que tende a ter a curva de probabilidades associada a uma distribuição gaussiana. O gráfico de controle tem dois limites - calculados a partir dos dados amostrais - que separam a variação aleatória da variação não-aleatória. O valor maior corresponde ao limite superior de controle (LSC) e o valor menor é chamado de limite inferior de controle (LIC). Uma estatística amostral localizada entre esses dois limites sugere a aleatoriedade da distribuição, enquanto um valor exterior a um dos dois limites sugere a não-aleatoriedade. Nos gráficos de controle é comum a utilização do LSC três sigmas acima da linha média ($\mu + 3\sigma$) e do LIC três sigmas abaixo desta ($\mu - 3\sigma$). (REBELATO, 2006)

Para Montgomery (1997), o gráfico de controle é um artifício de detecção das causas assinaláveis, ou seja, causas que não são comuns que, quando agem no processo, provocam alta variabilidade na saída (resultado do processo). Por meio da utilização do gráfico de controle torna-se possível analisar as tendências, os padrões de não-aleatoriedade e instabilidades inerentes ao processo, permitindo a sua interrupção para que seja realizada ação corretiva antes mesmo que se produzam itens fora dos limites de especificação.

Figura 10 - Modelo de gráfico de controle



Fonte: Rebelato (2006)

Para Montgomoery (2016), a maior parte dos processos não opera em estado de controle estatístico e, consequentemente, o uso rotineiro e atento dos gráficos de controle ajudará na identificação de causas atribuíveis. Se essas causas puderem ser eliminadas do processo, a variabilidade será reduzida e o processo melhorará.

De acordo com Galuch (2002), os gráficos de controle analisam como o processo se comporta, provendo uma atuação de forma preventiva, realizando ações corretivas no mesmo momento em que ocorrerem desvios, mantendo-o dentro de condições determinadas previamente. Outra característica importante dos gráficos de controle é que eles exercem um papel fundamental na aceitação do produto, pois o CEQ averigua a estabilidade e a homogeneidade do produto ou serviço que está sendo analisado.

Montgomery (2016) destaca que, os gráficos de controle, ao longo de sua história, atingiram alto grau de popularidade por pelo menos cinco razões que serão descritas a seguir.

1. Os gráficos de controle são uma técnica comprovada para a melhoria da produtividade. Um programa bem-sucedido de gráfico de controle reduzirá a sucata e o retrabalho, que são os principais empecilhos para a produtividade em *qualquer* operação. Se a sucata e o retrabalho estiverem reduzidos, então a produtividade aumentará, o custo cairá e a capacidade de produção (medida em número de peças *boas* por hora) crescerá.

2. Os gráficos de controle são eficazes na prevenção de defeitos. O gráfico de controle ajuda a manter o processo sob controle, o que é consistente com a filosofia do “faça certo da primeira vez”. Nunca é mais barato separar unidades “boas” das “ruins” mais tarde, do que fazê-las corretamente já de início. Se você não conta com controle efetivo do processo, você está pagando para fabricar um produto fora das especificações.

3. Os gráficos de controle evitam o ajuste desnecessário do processo. Um gráfico de controle pode distinguir entre um ruído de fundo e uma variação anormal; nenhum outro instrumento, incluindo um operador humano, é tão eficiente para fazer essa distinção. Se os operadores do processo o ajustam com base em testes periódicos não relacionados a um programa de gráfico de controle, frequentemente terão que reagir mais ao ruído de fundo e fazer ajustes que não seriam necessários. Esses ajustes desnecessários podem, na verdade, resultar em uma deterioração do desempenho do processo. Em outras palavras, o gráfico de controle é consistente com a filosofia “se não está quebrado, não conserte”.

4. Os gráficos de controle fornecem informação de diagnóstico. Frequentemente, o padrão dos pontos em um gráfico de controle conterá informação de valor para diagnóstico para um operador ou engenheiro experiente. Essa informação permite a implementação de uma mudança no processo que melhore seu desempenho.

5. Os gráficos de controle fornecem informação sobre a capacidade do processo. O gráfico de controle fornece informação sobre o valor de vários parâmetros importantes do processo e sobre sua estabilidade ao longo do tempo. Isso permite que se faça uma estimativa da capacidade do processo. Essa informação é de uso extraordinário para os planejadores do produto e do processo (MONTGOMERY, 2016, p. 135).

Os gráficos de controle estão entre as mais importantes ferramentas de controle da gerência; eles são tão importantes quanto os controles de custo e de material. A moderna tecnologia computacional facilitou a implementação dos gráficos de controle em qualquer tipo de processo, na medida em que a coleta e análise dos dados podem ser feitas em microcomputador ou em terminal de rede local em tempo real, on-line no local de trabalho (MONTGOMERY, 2016).

2.5 CAPACIDADE DO PROCESSO

De acordo com Ramos et al. (2013), devido à simplicidade de obtenção e avaliação, os índices de capacidade são bons exemplos de ferramentas do controle estatístico da qualidade com ampla utilização na área industrial. O mesmo autor deixa claro que tal qual os gráficos de controle, a determinação da capacidade do processo depende de estimativas para a dispersão e para o nível (em alguns casos) do processo. Assim, a obtenção de estimadores para a dispersão do processo, capazes de melhorar a sensibilidade dos índices, são de grande interesse para pesquisadores e usuários dos índices de capacidade do processo.

Para Ramos et al. (2013), o estudo da capacidade visa verificar se o processo consegue atender as especificações ou não. É avaliado se a dispersão natural (6σ) de um processo está dentro dos limites de especificação.

As técnicas estatísticas podem ser úteis em todo o ciclo do produto, inclusive no desenvolvimento de atividades anteriores à fabricação, para quantificar a variabilidade do processo, para analisar esta variabilidade em relação às exigências ou especificações do produto, e para ajudar o desenvolvimento e a fabricação na eliminação ou redução dessa variabilidade. Esta atividade geral é chamada de análise da capacidade do processo (MONTGOMERY, 2016).

Segundo Montgomery (2016), a capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade. Evidentemente, a variabilidade de características críticas para a qualidade no processo é uma medida da uniformidade da produção. Para o autor, existem duas maneiras de se enfrentar esta variabilidade: A variabilidade natural ou inerente a uma característica crítica para a qualidade em um instante específico – isto é, a variabilidade “instantânea” e a variabilidade em uma característica crítica para a qualidade ao longo do tempo.

Segundo Montgomery (2016), a análise da capacidade de um processo é fundamental para a melhoria da qualidade. Para o autor, entre as principais utilizações de dados de uma análise da capacidade de um processo destacam-se: Identificar até que ponto o processo

manterá as tolerâncias especificadas; Auxiliar os elaboradores do produto na seleção ou modificação de um processo; Auxiliar a estabelecer um intervalo entre amostras para monitoramento de um processo Especificar exigências de desempenho para um equipamento novo; Selecionar entre vendedores concorrentes e outros aspectos do gerenciamento da cadeia de suprimentos; Planejar a sequência de processos de produção quando há um efeito interativo de processos sobre as tolerâncias e reduzir a variabilidade em um processo.

Portanto, conclui-se que o estudo da capacidade de processos é de essencial importância, porque por meio dele são avaliadas quantitativamente as variabilidades do processo em relação as variabilidades das especificações estabelecidas para o processo. Originando dados que serão utilizados na tomada de decisão, para possíveis alterações no processo, buscando uma maior estabilidade.

2.5.1 Limites naturais, de especificação e de controle

De acordo com Carpinetti (2016), é de fundamental importância não confundir os limites de especificação com os limites naturais do processo e muito menos com os limites de controle do gráfico \bar{X} . De acordo com o autor, os limites naturais do processo são de X situados a ± 3 desvios-padrão da média μ do processo $\mu_0 \pm 3\sigma_0$.

Segundo Carpinetti (2016), os limites de controle para o gráfico \bar{X} são estabelecidos a ± 3 desvios padrão (de \bar{X}) da média do processo, o objetivo deste limite é definir a região de ação do gráfico \bar{X} , com intuito de prover um critério que sugira o momento de interferir no processo. Para o mesmo autor, os limites de especificação se aplicam aos valores individuais de X ; já os limites de controle são aplicados as médias amostrais \bar{X} . Embora X e \bar{X} , sejam medidos nas mesmas unidades físicas, a escala de variação das médias amostrais de \bar{X} é menor que a dos valores individuais de X . As razões da escala não são fixas pois não dependem de n . Logo, não se pode comparar os limites de especificação com os limites de controle.

2.5.2 Índices de capacidade

Os índices de capacidade do processo (ICPs) são parâmetros adimensionais que indiretamente medem o quanto o processo consegue atender as especificações. Não há nenhuma relação fixa entre o seu valor e a porcentagem de itens que o processo é capaz de

produzir dentro das especificações: essa relação vai depender da distribuição de probabilidades da característica da qualidade considerada (CARPINETTI, 2016).

Para Carpinetti (2016), a capacidade do processo seja avaliada, utiliza-se o índice Cp . Já para mensurar a capacidade do processo, é empregado o índice Cpk . Deste modo, entender a diferença de capacidade e capacidade torna-se fundamental. Outro índice importante é o Cpm que é um índice que relaciona a capacidade sigma e a diferença entre a média do processo analisado e o valor alvo em questão.

Novaski (1998), afirma que a capacidade do processo avalia se o mesmo é capaz de produzir dentro das especificações determinadas, entretanto, não traz uma avaliação se é necessário realizar ajustes em sua média. Isto é, as descentralizações das variáveis não são reveladas em torno da linha média (LM) do gráfico de controle. Contudo, a capacidade do processo supre esta necessidade, pois avalia se o mesmo está centrado em torno da média.

Portanto, pode-se relacionar o índice Cp à variabilidade dos limites em que se deseja produzir ($LSE-LIC$), com a variabilidade natural inerente ao processo (6σ). Deste modo, se o processo proporcionar um valor de índice superior a 1,33, será avaliado como capaz ou adequado. Entretanto, se este valor for inferior a 1, o processo será avaliado como incapaz ou inadequado. Entre estes valores é considerado uma faixa aceitável. A equação a seguir que reforça a definição descrita anteriormente:

$$Cp = \frac{(LSE - LIC)}{6\sigma}$$

O índice Cpk , considera o valor mínimo das medidas de dispersão das especificações dos limites ($LSC - \mu$; $\mu - LIC$) em relação à dispersão do processo (6σ). Logo, quanto mais próximo o resultado deste índice com o resultado do índice Cp , mais centralizada será a média do processo. A equação a seguir traz esta definição:

$$Cpk = MIN \left[\frac{LSC - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIC}{3\sigma} \right]$$

De acordo com Carpinetti et al. (2016), o índice Cpm possui desvantagem de que por um lado, processos que produzem unidades não conformes em iguais proporções, podem ter valores de Cpm muito diferentes, por outro lado, processos que produzem itens não conformes em proporções muito diferentes podem ter valores de Cpm próximos. Isto acontece

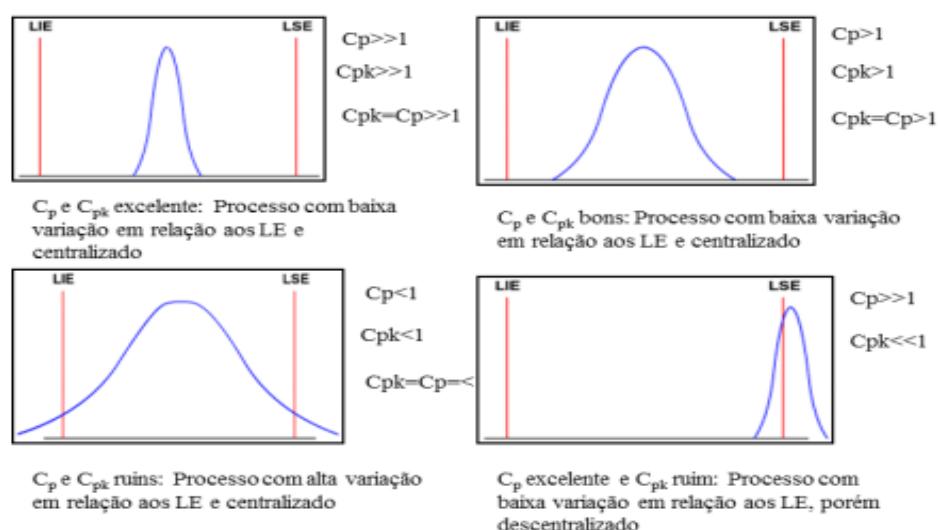
porque o índice Cpm penaliza os processos muito mais pela falta de centralidade do que pela quantidade de itens não conformes produzidos.

$$Cpm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}}$$

Carpinetti et al. (2016) assegura que o índice Cpm é mais coerente com ótica proposta por Tagushi (1986), de que existe uma perda crescente com o afastamento do valor da característica da qualidade com relação ao seu valor alvo; mas não é coerente com a visão de que um item é conforme se o valor da característica de qualidade estiver entre LIE e LSE , e não conforme no caso contrário.

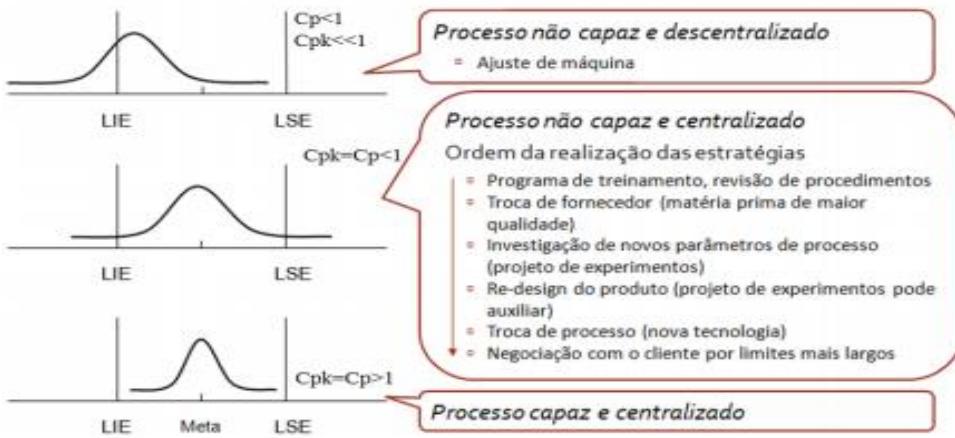
Segundo Ribeiro e Caten (2012), possuir uma maneira simples e quantitativa de expressar a capacidade de um processo é fundamental. Uma forma é utilizar os índices de capacidade que comparam os limites naturais do processo com a amplitude das especificações exigidas para o processo. Para calcular os índices de capacidade deve-se supor que as variáveis são advindas de uma distribuição normal.

Figura 11 - Processo capaz e não capaz



Fonte: Controle estatístico de Processo (RIBEIRO e CATEN, 2012)

Figura 12 - Descrição de Processo capaz e não capaz



Fonte: Controle estatístico de Processo (RIBEIRO e CATEN, 2012)

Segundo Carpinetti et al. (2016), pode-se adotar como regra geral, quanto maior for o valor do ICP, melhor o processo estará atendendo as especificações requeridas, no entanto, deve-se ter cautela ao comparar valores de índices distintos.

2.6 SISTEMAS DE MEDIÇÃO

O processo de medição quantitativo depende de algumas fontes que causam variação, e fatores responsáveis por essa variabilidade são: deterioração de componentes do instrumento de medição, disposição em que o item é colocado no aparelho de medição; condições ambientais, deficiência de treinamento dos operadores e ausência de calibração do equipamento de medição (WERKEMA, 2006).

De acordo com Carpinetti et al. (2016), o monitoramento de um processo ocorre através da medição de alguma característica de qualidade X, por meio de algum sistema de medição. Um sistema ideal seria aquele que produzisse somente resultados corretos, entretanto, como em qualquer processo, a medição pode possuir resultados com erros ou certo grau de incerteza. Quando se mede determinada característica, pode-se verificar em cada valor medido, um erro embutido, deste modo, tem-se uma dispersão de valores em torno de um ponto central. Esta variabilidade pode ser dividida em duas partes: Variabilidade real da característica X inerente ao processo produtivo (com causas aleatórias e ocasionalmente com causas especiais) e a variabilidade inerente a medição.

A finalidade de uma medição é definir o valor de uma grandeza a ser medida. Toda medição deve possuir uma especificação da grandeza e metodologia de medição.

A determinação da capacidade de um sistema de medidas é um aspecto importante de muitas atividades de melhoria da qualidade e do processo.

Geralmente, em uma atividade que envolve medições, alguma variabilidade observada será inerente às unidades ou itens que estão sendo medidos, e alguma variabilidade será resultado do sistema de medida usado. O sistema de medida consistirá (minimamente) de um instrumento, ou medidor, e normalmente tem outros componentes, tais como operadores que o usam e as condições sob as quais é usado, ou diferentes instantes de uso no tempo. Pode haver outros fatores que impactam o desempenho do sistema de medida, tais como atividades de instalação ou calibração. (MOTGOMERY, 2016, p. 269)

2.6.1 Características dos sistemas de medição

Toda grandeza física tem um valor “verdadeiro”: aquele que resultaria de uma medição perfeita. Como, porém, medições perfeitas por natureza não existem, este valor verdadeiro não pode ser determinado com precisão infinita. Assim trabalha-se com valor verdadeiro convencional, que tem uma incerteza apropriada para determinada finalidade. (CARPINETI, 2016)

De acordo com Carpinetti (2016), a diferença entre o resultado da medição e o valor verdadeiro, constitui o erro de medição, que podem ser definidos em:

- Sistemático: Diferença entre o valor médio que resultaria de um número infinito de medições do mesmo mensurando, sob as mesmas condições e o valor verdadeiro do mensurando. O erro sistemático também é conhecido como tendência.
- Aleatório: Diferença entre o resultado da medição e o valor médio.

Conforme Carpinetti et al. (2016), é comum dizer que um instrumento é “exato” quando não possui erro sistemático e “preciso” quando seu erro aleatório é pequeno. De modo geral, os principais fatores que diferenciam os sistemas de medição quanto as características mencionadas são: detalhes construtivos e de projeto; desgaste decorrente do uso; modo de operação; condições ambientais e calibração.

Conclui-se que para que se possa avaliar de forma prática um determinado instrumento de medição é adequando para um determinado fim, se faz necessário estimar os erros sistemáticos e aleatórios.

2.6.2 Rastreabilidade metrológica

De acordo com Carpinetti et al. (2016), o padrão de referência utilizado em cada local é aquele de maior qualidade metrológica disponível no local. Seus resultados de

medição são rastreáveis a um padrão de referência nacional ou internacional para aquela grandeza.

Carpinetti et al. (2016) assegura que a rastreabilidade se refere a propriedade de um resultado de medição ou valor de um padrão estar relacionados as referências estabelecidas, por meio de uma cadeia de comparações. A rastreabilidade de um instrumento é dada por meio de calibrações, que consiste em um conjunto de operações que estabelece em condições específicas, a correspondência entre os valores indicados pelo instrumento e os valores estabelecidos por um valor de referência.

2.6.3 Repetitividade e reproduzibilidade

Segundo Carpinetti et al. (2016), para compreensão dos termos repetitividade e reproduzibilidade, é importante compreender que há variabilidade em um conjunto de valores obtidos através de determinado instrumento de medição e a variabilidade inerente a processo produtivo. Deste modo, é necessário o uso da lei da aditividade das variâncias:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{processo}^2 + \sigma_{med}^2$$

- σ_{total}^2 : variância total dos valores observados de X
- $\sigma_{processo}^2$: variância dos valores verdadeiros de X, devido as causas aleatórias do processo produtivo e as eventuais causas especiais
- σ_{med}^2 : variância intrínseca a medição, causadas pelo instrumento, procedimentos e condições de medição.

Segundo Carpinetti et al. (2016) a variância inerente a medição, decompõe-se em duas parcelas da seguinte maneira:

$$\sigma_{med}^2 = \sigma_{repe}^2 + \sigma_{repro}^2$$

Carpinetti et al. (2016) define repetitividade como o grau de concordância entre resultados de medições sucessiva de um mesmo mensurando (uma peça, por exemplo), sob as mesmas condições de medição. A repetitividade de um instrumento de medida como a aptidão do instrumento em fornecer indicações muito próximas em medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições de medição.

Para Carpinetti et al. (2016), as condições de repetitividade são: mesmo procedimento de medição; mesmo observador; mesmo instrumento de medição, utilizado nas mesmas condições; mesmo local; repetição em curto período de tempo.

Montgomery (2016) define repetitividade como a obteremos o mesmo valor observado se forem medidas a mesma unidade várias vezes sob condições idênticas.

Segundo Montgomery (2016) pode-se definir reprodutibilidade como a mensuração da quantidade de diferenças são observadas nos valores avaliados quando as unidades são medidas sob condições diferentes, tais como operadores, períodos de tempo, entre outros.

Carpinetti et al. (2016) define reprodutibilidade dos resultados de medição como o grau de concordância entre os resultados de medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição, variando por exemplo o operador.

Repetitividade e reprodutibilidade não são valores numéricos são conceitos que se referem a propriedades e podem ser expressos quantitativamente em função das características da dispersão dos resultados; por exemplo em termos de variâncias σ_{repe}^2 e σ_{repro}^2 . Quanto menor os valores destas variâncias, maiores respectivamente, serão a repetitividade e a reprodutibilidade dos resultados das medições.

2.7 A INDÚSTRIA CERÂMICA

Segundo a ANFACER (2017), a cerâmica nos últimos anos, seguindo a evolução industrial, adotou a produção em massa, a partir do desenvolvimento de novas tecnologias para equipamentos e a introdução de técnicas de gestão, incluindo o controle de matérias-primas, dos processos e dos produtos fabricados.

Para a ANFACER (2017), cerâmica abrange todos os materiais inorgânicos, não-metálicos, adquiridos geralmente após tratamento térmico em temperaturas altas.

A cerâmica pode ser subdividida em alguns setores que possuem características bastante particulares: Cerâmica Vermelha; Cerâmica Branca; Materiais Refratários; Abrasivos; Vidro, Cimento e Cal; Revestimentos Cerâmicos e Cerâmica Avançada.

O quadro a seguir, retrata a classificação e a descrição de cada tipologia cerâmica de acordo com a ANFACER (2017).

Quadro 1 - Classificação cerâmica

Classificação	Descrição
Cerâmica Branca	Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítreia transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca da massa, necessária por razões estéticas e/ou técnicas. É mais adequado subdividir este grupo em: Louça sanitária; Louça de mesa; Isoladores elétricos para alta e baixa tensão; cerâmica artística (decorativa e utilitária); cerâmica técnica para fins diversos, tais como: químico, elétrico, térmico e mecânico.
Materiais Refratários	Este grupo compreende uma diversidade de produtos que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Para suportar estas solicitações e em função da natureza das mesmas, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos, a partir de diferentes matérias-primas ou mistura destas.
Abrasivos	Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carreto de silício.
Vidro, Cimento e Cal	São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados à parte da cerâmica.
Cerâmica Avançada	Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada. Eles são classificados, de acordo com suas funções, em: eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar.
Revestimentos Cerâmicos	As placas cerâmicas são constituídas, em geral, de três camadas: a) o suporte ou biscoito, b) o engobe, que tem função impermeabilizante e garante a aderência da terceira camada, e c) o esmalte, camada vítreia que também impermeabiliza, além de decorar uma das faces da placa. O corpo cerâmico compõe-se de matérias-primas naturais, argilosas e não argilosas. Estes revestimentos são usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grès, lajota, piso, etc. A tecnologia do porcelanato trouxe produtos de qualidade técnica e estética refinada, que em muitos casos se assemelham às pedras naturais.

Fonte: Adaptado do site da ANFANCER (2017)

Dentre todas as tipologias cerâmicas levantadas, o presente trabalho terá ênfase na indústria de revestimentos cerâmicos, e seus processos serão descritos posteriormente.

A cerâmica de revestimento compõe um segmento da indústria de transformação, de capital intensivo. Tendo como atividade à produção de pisos e azulejos. Porém, o gênero de cerâmica é amplo e heterogêneo o que induz a dividi-lo em subsetores ou segmentos em função de diversos fatores, como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização (ANFACER, 2017).

De acordo com a NBR 13817:1997, os revestimentos cerâmicos são classificados a partir dos seguintes critérios: Esmaltados e não esmaltados; Métodos de fabricação; Grupos de absorção de água; Resistência a abrasão superficial (PEI); Resistência ao manchamento; Resistência ao ataque químico e Aspecto superficial.

A NBR 13817: 1997, classifica os revestimentos cerâmicos com relação a natureza da superfície: Esmaltados e não esmaltados (*glazed* ou GL e *unglazed* ou UGL);

De acordo com a NBR 13818: 1997 métodos de fabricação: Extrudados (A), Prensados (B) e Outros (C).

A NBR 13817: 1997, classifica os grupos de absorção de água em: Ia: 0 a 0,5%; Ib: 0,5% a 3,0%; IIa: 3,0% a 6,0%; IIb: 6,0% a 10,0%; III: > 10%.

O quadro a seguir retrata a classificação dos revestimentos prensados, que é objeto de estudo deste trabalho:

Quadro 2 - Grupos de absorção

Grupos	Absorção de água	Classificação	Características
B Ia	≤ 0,1%	Porcelanato Técnico	Baixa absorção e resistência mecânica alta
	≤ 0,5%	Porcelanato Esmaltado	
B Ib	0,5% a 3,0%	Grês	Baixa absorção e resistência mecânica alta
B IIa	3,0% a 6,0%	Semi Grês	Média absorção e resistência mecânica média
B IIb	6,0% a 10,0%	Semi poroso	Alta absorção e resistência mecânica baixa
B III	> 10%	Poroso	Alta absorção e resistência mecânica baixa

Fonte: Adaptado do site do INMETRO (2017)

De acordo com o INMETRO (2017), um dos parâmetros de classificação das placas cerâmicas é a absorção de água, que tem efeitos diretos sobre outras propriedades do produto. A resistência mecânica do produto, por exemplo, é tanto maior, quanto mais baixa for a absorção.

A NBR 131817:1997, classifica os revestimentos cerâmicos segundo teste de resistência do esmalte da peça ao desgaste por abrasão (PEI). Este coeficiente é útil para determinar os ambientes mais adequados para aplicação do revestimento. O PEI pode variar numa escala de 1 a 5, onde 1 significa menor resistência a abrasão superficial e 5 maior resistência.

Segundo o INMETRO (2017), o ensaio de resistência ao manchamento e ao ataque químico, verificam a capacidade que a superfície da placa possui de não alterar sua aparência,

quando em contato com determinados produtos químicos ou agentes manchantes. Os resultados desses ensaios permitem alocar o produto em classes de resistência para cada agente manchante ou para cada produto químico especificado na norma regulamentadora.

Os quadros a seguir retratam a classificação dos revestimentos relacionadas a classificação do manchamento e ao ataque químico respectivamente.

Quadro 3 - Resistência ao manchamento

Manchamento	
Classificação	Definição
5	Máxima facilidade de remoção de mancha
4	Mancha removível com produto de limpeza fraco
3	Mancha removível com produto de limpeza forte
2	Mancha removível com ácido clorídrico/acetona
1	Impossibilidade de remoção da mancha

Fonte: Adaptado do site do INMETRO (2017)

Quadro 4 - Resistência Ataque químico

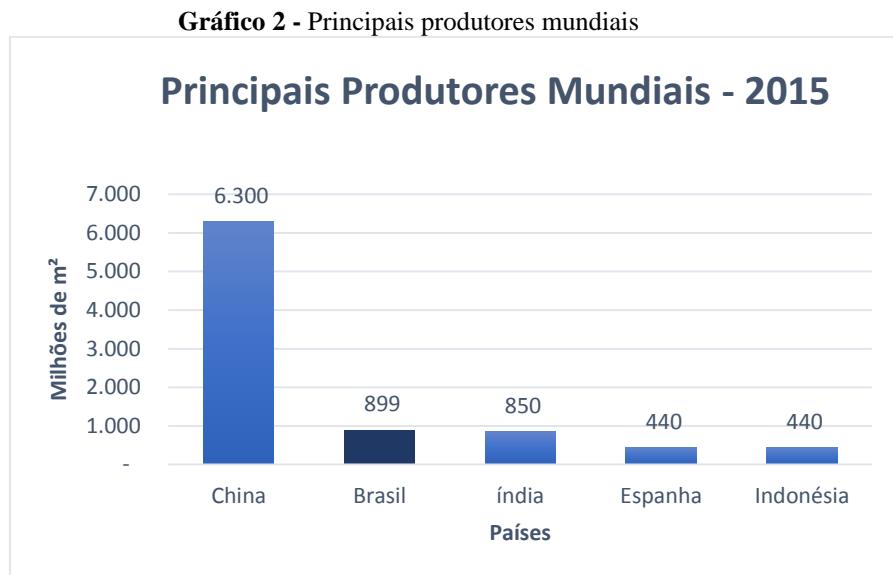
Ataque químico	
Classificação	Definição
A	Ótima resistência a produtos químicos
B	Ligeira alteração de aspecto
C	Alteração de aspecto bem definida

Fonte: Adaptado do site do INMETRO (2017)

De acordo com a NBR 131817: 1997, pode-se classificar as placas de revestimento cerâmico como tipo A, ou primeira qualidade, quando 95% das peças avaliadas não possuam defeitos visíveis a 1,0 metro de distância.

2.7.1 Panorama geral do setor

De acordo com a ANFACER, o mercado internacional assinala uma diminuição na velocidade do crescimento dos negócios, este aspecto causa impacto no ramo cerâmico em vários países. Apesar da desaceleração da economia, a indústria cerâmica está em ininterrupto avanço, a partir do emprego de novas tecnologias e a incorporação de conceitos de sustentabilidade. A China é o maior produtor e consumido de cerâmica do mundo, seguido pelo Brasil, conforme ilustrado no gráfico a seguir.



Fonte: Adaptado do site da ANFACER (2017)

Segundo a ANFACER (2017), o Brasil tem papel fundamental no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, no ano de 2016 foram fabricados aproximadamente 792 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1.048 milhões de metros quadrados. As vendas totais registradas chegaram num montante de 800,3 milhões de metros quadrados, dos quais 706 milhões de metros quadrados foram vendidos no mercado interno e 94,3 milhões de metros quadrados exportados.

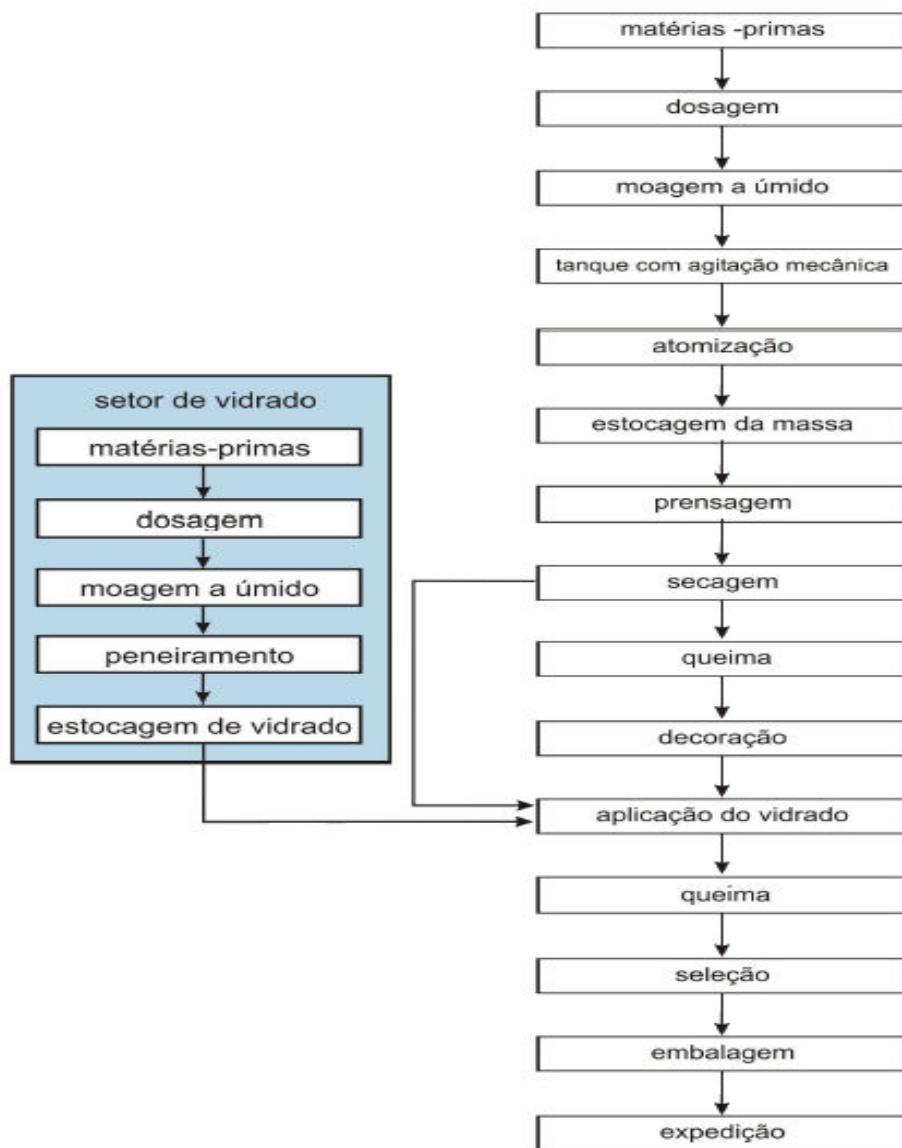
Para a ABCERAM (2017), a fartura de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas introduzidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem de maneira veloz e vários tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com considerável quantidade exportada.

A ANFACER (2017) destaca que o Brasil é hoje um dos maiores *players* mundiais do revestimento cerâmico. Sendo o segundo maior consumidor mundial de revestimentos cerâmicos e produtor. A cada dia a qualidade e a variedade desse material crescem. Simultaneamente, evolui o uso da cerâmica no Brasil para revestir pisos e paredes de todos os espaços internos da casa, assim como espaços externos.

2.7.2 Processo de Fabricação cerâmica

De modo geral, o processo de fabricação cerâmica compreende as etapas de preparação da massa e matérias primas, atomização, conformação (prensagem), secagem, esmaltação, decoração, tratamento térmico, acabamento e seleção. Tais processos estão ilustrados no fluxograma a seguir.

Figura 13 - Fluxograma do processo de fabricação cerâmica via úmida



Fonte: ABCERAM (2017)

De acordo com a ABCERAM (2017), a maior parte das matérias-primas empregadas na indústria cerâmica tradicional é natural, ou seja, estão espalhadas por todo o planeta. Após a mineração, os materiais precisam ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos,

classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificadas. O processo de fabricação, propriamente dito, é iniciado logo após essas operações. As matérias-primas sintéticas na maioria das vezes são fornecidas prontas para uso, precisando somente, em alguns casos, de um ajuste granulometria.

Na indústria cerâmica tradicional, grande parte das matérias-primas utilizadas é natural e obtida por mineração. Desta forma, a primeira etapa de redução de partículas e de homogeneização das matérias-primas é realizada na própria mineração, sendo que após esta fase a matéria-prima ainda deve ser beneficiada (desagregada ou moída), classificada de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificada na indústria cerâmica. (OLIVEIRA, 2006).

Para Oliveira (2006), o transporte de matérias-primas da mineração para o processamento pode ser realizado tanto por via ferroviária, quanto rodoviária, entretanto, dependendo de suas características e do tipo de processamento no qual é submetido, podem ainda continuar estocadas em pátios a céu aberto, para maturação, por aproximadamente de seis meses. Durante esse período, ocorre a decomposição da matéria orgânica existente na camada de solo, tornando a matéria prima mais pura e homogênea para ser utilizada no processamento.

A ABCERAM (2017), define a preparação de massa como a composição de um conjunto de matérias-primas, além de insumos e água ou outro meio. Desta maneira, uma das etapas fundamentais do processo é a dosagem das matérias-primas e dos insumos, que deve seguir rigorosamente as formulações de massas, previamente estabelecidas.

Segundo Oliveira (2006), a massa cerâmica é conduzida aos moinhos através de esteiras. Nos moinhos é realizada a moagem, juntamente com água, dando origem à barbotina. Essa redução da granulometria serve para muitos fins, tais como telhas, paredes, placas de revestimento, produtos refratários e louça de mesa.

De acordo com a ANFANCER (2017), na indústria de revestimentos cerâmicos dois tipos de processos produtivos devem ser destacados, e são classificados como:

Quadro 5 - Tipos de Moagem

Tipos de Moagem	Etapas do processo produtivo	Vantagens
Via Seca	Lavra; secagem; moagem a seco; conformação; decoração e queima.	Menores custos energéticos, pelo fato de a secagem ser realizada naturalmente através da exposição da matéria prima ao sol e menor impacto ambiental.
Via Úmida	Mistura das matérias primas, como por exemplo argilas, matérias fundentes, talco, carbonatos, que são moídas e homogeneizadas em moinhos de bola, em meio aquoso; Secagem e granulação da massa em “ <i>spray dryer</i> ” (atomizador); conformação; decoração e queima.	Aquisição de massa mais homogênea e não há necessidade de espera para secagem da matéria prima.

Fonte: Adaptado do site da ANFACER (2017)

Para Oliveira (2006), especialmente no caso da cerâmica de revestimento por via úmida, antes da prensagem, a massa cerâmica, na forma de barbotina, passa pelo processo de atomização. Nesta fase de processo, a barbotina é encaminhada por tubulações até o atomizador (equipamento utilizado para secagem da barbotina), o qual consiste de um cilindro, dotado de bicos pulverizadores em sua periferia interna, por onde são borrifadas as gotas da barbotina.

O *spray* da solução se mistura a um jato de ar quente (em média de 700°C), obtido geralmente através da queima de gás natural ou coque de petróleo, resultando numa massa granulada semi-seca que será encaminhada para prensagem. (OLIVEIRA, 2006).

Segundo a ANFACER (2017), 40% da produção nacional é obtida por via seca e 60% por via úmida. Os dois processos se diferenciam na seleção e preparação da massa de argila, para produção biscoito cerâmico. A fase de mineração e processamento cerâmico, é a semelhante para ambos os processos.

O processo de formação ou prensagem confere ao pó atomizado o seu formato geométrico desejado. A ABCERAM (2017) define quatro formas de conformação, que estão descritos no quadro a seguir. No processo estudo, utilização a conformação via prensagem.

Quadro 6 - Classificação cerâmica

Tipos de conformação	Descrição
Colagem ou fundição	Consiste em verter uma suspensão (barbotina) num molde de gesso, onde permanece durante um certo tempo até que a água contida na suspensão seja absorvida pelo gesso; enquanto isso, as partículas sólidas vão se acomodando na superfície do molde, formando a parede da peça. O produto assim formado apresentará uma configuração externa que reproduz a forma interna do molde de gesso.
Prensagem	Nesta operação utiliza-se sempre que possível, massas granuladas e com baixo teor de umidade. Diversos são os tipos de prensa utilizados, como fricção, hidráulica e hidráulica-mecânica, podendo ser de mono ou dupla ação e ainda ter dispositivos de vibração, vácuo e aquecimento.
Extrusão	A massa plástica é colocada numa extrusora, também conhecida como maromba, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada, com seção transversal com o formato e dimensões desejados; em seguida, essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados, blocos, tubos e outros produtos de formato regular. A extrusão pode ser uma etapa intermediária do processo de formação, seguindo-se, após corte da coluna extrudada, como é o caso da maioria das telhas, ou o torneamento, como para os isoladores elétricos, xícaras e pratos, entre outros.
Torneamento	Como descrito anteriormente, o torneamento em geral é uma etapa posterior à extrusão, realizada em tornos mecânicos ou manuais, onde a peça adquire seu formato final.

Fonte: Adaptado do site da ANFANCER (2017)

Para Oliveira (2006), a prensagem consiste na conformação de massas granuladas com pequeno teor de umidade a partir de uma prensa, sendo usada principalmente na produção de pisos e revestimentos, embora não se restrinja a esta aplicação.

Segundo a ABCERAM (2017), depois da fase de formação, as peças continuam a conter água, proveniente ainda da preparação da massa. Para evitar tensões e, por conseguinte, defeitos nas peças, é necessário acabar com essa água, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas entre 50°C e 150°C.

De acordo com Oliveira (2006), a forma de evitar tensões e, consequentemente, deformidades nas peças (como trincas, bolhas, empenos, etc.) é imprescindível eliminar essa água de forma lenta e gradual até um teor suficientemente baixo, de 0,8% a 1,5% de umidade residual.

Para ABCERAM (2017), muitos produtos cerâmicos, ganham uma camada fina e contínua de um esmalte ou vidrado, que após a sinterização adquire a aparência vítreia. Esta camada vítreia colabora para os aspectos estéticos, higiênicos e melhora de algumas propriedades como a mecânica e a elétrica.

A ABCERAM (2017) define esmaltes ou vidrados como combinações de matérias-primas naturais e produtos químicos ou compostos vítreos que são aplicados à superfície do corpo cerâmico e após o processo de sinterização, formando uma camada vítreia, fina e contínua. Esta tem por desígnio aperfeiçoar a estética, tornar o produto impermeável, aumentar a resistência mecânica e também propriedades elétricas. As composições dos esmaltes (vidrados) são inúmeras e sua formulação depende das características do corpo cerâmico, das características finais do esmalte e da temperatura de queima.

Para ABCERAM (2017), os esmaltes podem ser aplicados no biscoito cerâmico de jeitos distintos dependendo da forma, da dimensão, da quantidade e da estrutura das peças, compreendendo também os efeitos que se deseja obter na superfície esmaltada, como algumas decorações e relevos por exemplo. Entre eles podemos citar: imersão, pulverização, campânula, cortina, disco, gotejamento e aplicação em campo eletrostático. Em muitas indústrias e dependendo do segmento cerâmico o setor da esmaltação é totalmente automatizado.

Segundo Oliveira (2006), na operação de sinterização, os produtos contraem suas propriedades finais, sendo de extrema importância na fabricação dos produtos cerâmicos. A partir desta etapa dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos, incluindo sua intensidade de brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, ao gretamento, a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, e outros. Em função desta importância são fundamentais o projeto e a instalação correta dos fornos, a fim de garantir uma combustão eficiente.

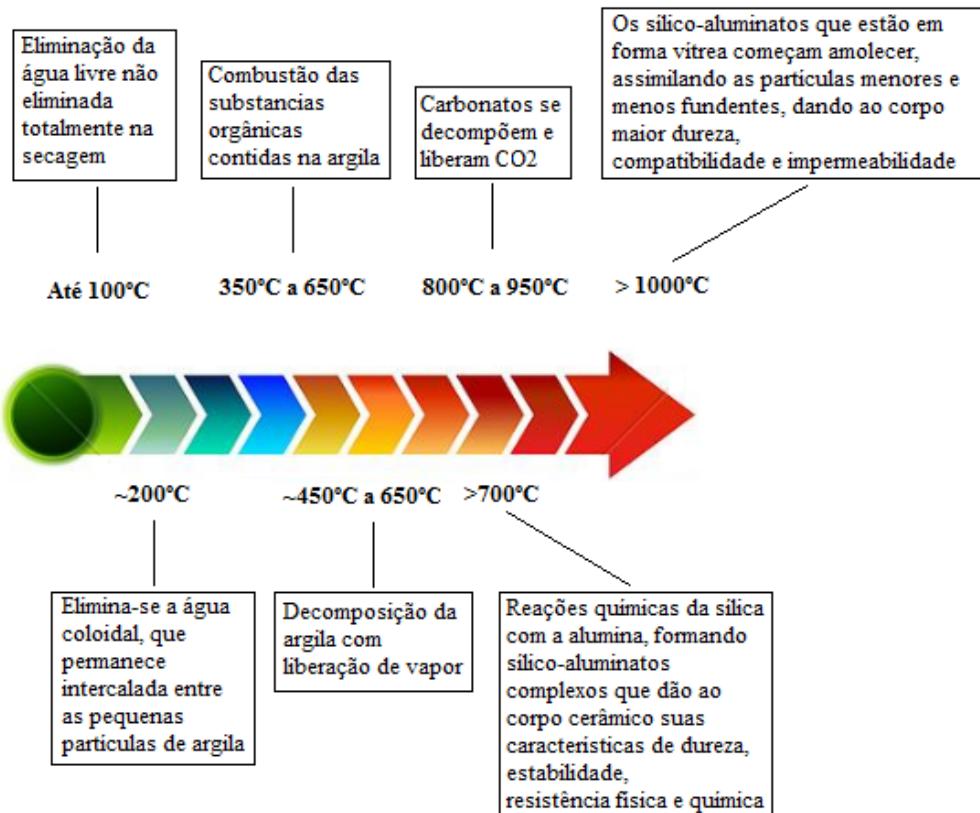
Para Oliveira (2006), o processo de sinterização ocorre após à secagem e à esmaltação. A secagem tem o papel de diminuir a umidade, reduzindo o excesso de água na peça e as possíveis trincas motivadas pelo surgimento de bolhas de vapor. Desta maneira, após a redução do teor de umidade e o recebimento da camada de esmalte, as peças são encaminhadas para fornos contínuos ou intermitentes e submetidas a um tratamento térmico entre 800°C e 1.700°C. A operação atua em três fases, que são: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; patamar durante certo tempo na temperatura especificada e resfriamento até temperaturas inferiores a 200°C.

De acordo com a ABCERAM (2017), o processo de sinterização, é a fase em que os produtos cerâmicos adquirem suas propriedades e características finais. As peças são submetidas a um tratamento térmico a temperaturas bastante elevadas, que para a maioria dos produtos, dependendo de sua aplicação, está entre 800 °C a 1700 °C, em fornos contínuos ou

intermitentes, operando em três fases, denominadas ciclo de queima (podendo ter duração de minutos ou até de alguns dias). A seguir estão descritas as fases o ciclo de queima:

- Aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada;
- Patamar durante certo tempo na temperatura especificada;
- Resfriamento até temperaturas inferiores a 200 °C.

Figura 14 - Ciclo de queima do forno



Fonte: Adaptado de Oliveira (2006)

Segundo a ABCERAM (2017), durante esse tratamento acontecem inúmeras modificações e transformações em função dos componentes da massa, como por exemplo: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, a partir da fase de transição vítreia, ocorre o surgimento da fase vítreia e a aglutinação dos grãos. Portanto, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas são obtidos produtos para as mais diversas aplicações.

Para a ABCERAM (2017), em geral, a maioria dos produtos cerâmicos, após o processo de queima, é inspecionada e estão próprias para venda e consequentemente o consumo. Para alguns produtos, no entanto, são necessários outros processamentos adicionais para atender a alguns requisitos, que não são possíveis de serem obtidas durante o processo de

fabricação. Estes procedimentos são denominados de acabamento, podendo incluir polimento, corte, furação, entre outros.

De acordo com Oliveira (2006), ao deixarem o forno, as peças resfriadas e acabadas são classificadas e embaladas, finalizando o processo de fabricação. O controle de qualidade do produto afere sua regularidade dimensional, aspecto superficial e características mecânicas e também químicas. A apreciação dos aspectos superficiais e das características mecânicas, tais como cor, trinca e empeno das peças é feita visualmente por um técnico e, em função do defeito encontrado, o produto é codificado e classificado numa linha pelos embaladores e, na outra, por um sistema automatizado de embalagem. A análise dos aspectos dimensionais da peça é feita mediante sistemas automáticos. Depois de passar pelo controle de qualidade o produto é embalado e colocado em *pallets* de madeira e armazenado para venda.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia científica realiza uma caracterização detalhada do objeto de estudo e das técnicas que foram aplicadas para desenvolvimento da pesquisa de maneira racional e sistemática, com o principal objetivo de solucionar os problemas que foram propostos.

Lakatos et al. (2011) corroboram que a finalidade da atividade científica é a obtenção da verdade, por intermédio da comprovação de hipóteses, que, por sua vez, são pontes entre a observação da realidade e a teoria científica, que explica a realidade. O método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Nesta seção serão apresentadas a caracterização e classificação da pesquisa, bem como a sua delimitação, sendo descrito como foi realizada a coleta e o tratamento dos dados e as principais dificuldades para a sua realização.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

Para Vergara (2003), há dois tipos de classificação. Quanto aos fins e aos meios. Quando é classificada quanto aos fins, ela pode ser exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista. Quando é classificada quanto aos meios, ela pode ser bibliográfica, documental, experimental, *ex-post-facto*, pesquisa participante, pesquisa ação, estudo de caso, *survey* (levantamento) e coorte.

Quanto ao meio, a pesquisa foi elaborada em forma de **estudo de caso**, onde foi feito o detalhamento do processo produtivo de cerâmica e porcelanato, com intuito de descrever e analisar algumas variáveis do processo, por meio da aplicação do controle estatístico de processo. A pesquisa também foi considerada **bibliográfica**, pois foi desenvolvida com embasamento teórico realizado para compreensão do controle estatístico de processo, adquirida em livros, artigos científicos, periódicos, dissertações, entre outras fontes relacionadas ao tema abordado.

Quanto aos fins, a pesquisa é **aplicada**, pois está relacionada a evidenciação de problemas relacionados aos processos de fabricação do produto, associadas a qualidade e a solução do mesmo; **metodológica**, pois aplica uma metodologia preexistente do controle estatístico de processo; e por fim, **descritiva**, pois detalha o processo produtivo, como

também o fluxo do produto em uma empresa de cerâmica e porcelanato a fim de que se tenha conhecimento do processo produtivo e de seus parâmetros de processo.

3.2 AMBIENTE E SUJEITOS DA PESQUISA

O estudo de caso foi realizado no processo produtivo de uma empresa de cerâmica e porcelanato no Estado da Paraíba, com foco na produção, sobretudo no processo de sinterização (queima). Todos os seus produtos fabricados são destinados a indústria da construção civil.

Os sujeitos pesquisados, considerando que se trata de uma observação direta participante (uma vez que a pesquisadora atua na área de Coordenação de Processo e Qualidade), são o Gerente Técnico e de Produção, o Chefe de controle de qualidade e a equipe operacional de produção e qualidade (formada por forneiros e inspetores de qualidade). Os cargos gerenciais e de chefia são ocupados por profissionais ceramistas, com formação e experiência técnica.

Nesta pesquisa foi selecionado o setor que é responsável pela maior quantidade de defeitos reclamados no ano de 2016, e por possuir maior representatividade no tocante aos custos da não qualidade.

3.3 VARIÁVEIS DA PESQUISA

De acordo com Oliveira (2005), a definição das variáveis é de suma importância para obtenção dos objetivos específicos, pois orientam as etapas para a conclusão e introduz a necessidade de estabelecer a forma como serão medidos. As variáveis de análises deste trabalho estão descritas no quadro a seguir.

Quadro 7 - Variáveis da pesquisa

Objetivos Específicos	Variáveis da Pesquisa	Instrumento de Coleta	Fontes principais
Conhecer o fluxo de processo de fabricação da cerâmica e porcelanato	Processo de fabricação cerâmica	Pesquisa documental Observador participante	ANFACER (2017) ABCERAM (2017) Oliveira (2006)
Levantar os principais indicadores de processo produtivo e as ocorrências de reclamações dos clientes associando aos setores diretamente relacionados ao problema técnico	Indicadores de processo e ocorrência de reclamações	Pesquisa documental	Paladini (2012) Feigenbaum (1994) Mattos & Toledo (1998)
Aplicar as ferramentas do CEP no processo selecionado	Controle estatístico de processo	Pesquisa documental Pesquisa bibliográfica Software estatístico MINITAB® Editor de planilhas Microsoft Excel®	Carpinetti et al. (2016) Montgomery (2016)
Analizar os resultados obtidos após aplicação do CEP, visando a construção de um plano de melhoria de processo	Melhorias de processo	Sujeitos participantes da pesquisa	Tubino (2015) Kume (1993)

Fonte: Adaptado de Oliveira (2005)

3.4 COLETA DE DADOS

O levantamento dos dados ocorreu no período de uma semana, durante o mês de setembro de 2017, com o objetivo de levantar os dados qualitativos e quantitativos necessários para realização da pesquisa.

A coleta de dados foi realizada por meio da observação estruturada (Apêndice A), sendo observados os processos produtivos, sendo possível realizar o levantamento das variáveis e parâmetros a serem estudados.

A partir de entrevista semiestruturada (Apêndice B), realizada junto ao Gerente Técnico e de Produção, o Chefe de controle de qualidade e a equipe operacional de produção

e qualidade. Foram coletadas informações a respeito da disponibilidade de equipamentos, questões técnicas do processo de fabricação cerâmica com intuito de esclarecer quais são as principais causas de variabilidade no processo.

3.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Devido ao tempo reduzido desta pesquisa, não foi possível a aplicação do CEP, para outros setores que possuem grande significância para o processo produtivo da cerâmica.

É importante salientar que os resultados da análise consideram apenas a empresa estudada, mas com algumas adaptações podem ser aplicadas em outras empresas.

3.6 TRATAMENTO DOS DADOS

Com intuito de facilitar o entendimento, o trabalho foi subdividido em algumas etapas descritas a seguir:

- Foram elaborados fluxogramas do processo produtivo a fim de facilitar a sua análise e entendimento como um todo. Sendo descritas cada parte do processo produtivo e suas ferramentas de controle.
- Foram levantadas as principais causas de reclamações no ano de 2016, e relacionadas a cada agente causador.
- Através do Diagrama de Pareto, foi selecionado qual setor deveria ser priorizado para início das atividades de pesquisa. Deste modo, foram aplicadas ferramentas estatísticas através do *Software MINITAB®* e *Microsoft Excel®* e seus resultados foram analisados.
- Foram elaborados gráficos de controle e de capacidade, onde foram descritas características quantitativas do processo de sinterização.
- Após a análise dos dados, foram identificadas as oportunidades de melhoria do processo, por meio da identificação das perdas e desperdícios relacionados a não qualidade, causadas pelas variabilidades de processo.

4 RESULTADOS

Como foco do estudo, serão avaliados os controles de executados na etapa de sinterização, tendo-se como objetos principais de análise, a dimensão das peças do formato 61x61. A seguir serão apresentadas a caracterização do processo, análise dos dados qualitativos e quantitativos dos índices de reclamações e análises de dados oferecidas a partir de amostragens, agrupadas a comentários pertinentes a possibilidade de melhoria do processo, quando aplicável.

4.1 ESTUDO DE CASO

A indústria analisada foi fundada em 1984, contando com uma produção artesanal inicialmente de 70 m²/dia. Atualmente possui três unidades de produção de revestimentos cerâmicos localizados no Estado da Paraíba, uma no Estado de Santa Catarina e uma em no Rio Grande do Norte, também conta com uma unidade fabricante de Cimento. O grupo possui capacidade produtiva para 3.200.000 m²/mês de revestimentos cerâmicos.

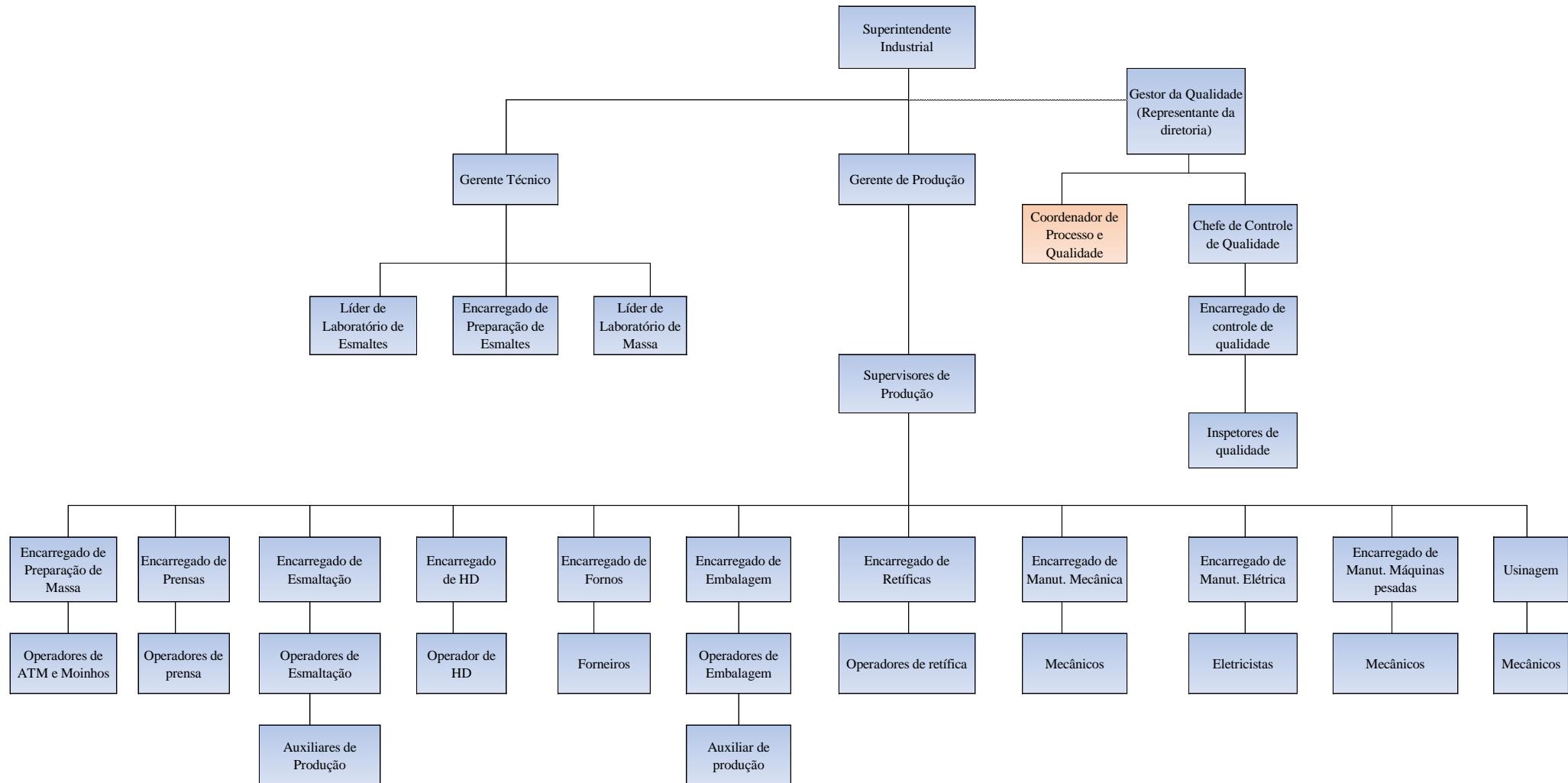
Figura 15 - Indústria analisada



Fonte: Site institucional da empresa (2017)

A pesquisa foi realizada junto a Coordenação de Processo e Qualidade da empresa. A figura abaixo mostra o organograma da empresa.

Figura 16 - Organograma do setor de produção



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado nos arquivos da empresa (2017)

Quase todos os insumos majoritários são produzidos pela empresa que detém cinco centros de mineração, transporte próprio de matérias primas, além da produção de fritas e granilhas de esmaltes.

A Empresa visa hoje a certificação pela CCB (Centro Cerâmico do Brasil) buscando garantir a qualidade de seus produtos e a conformidade deles com as normas NBR 13818 e NBR 15463. Esta certificação traz uma garantia a marca está adequada para atendimento as necessidades dos clientes, trazendo qualidade e confiança por se tratar de produtos em conformidade com as mais importantes normas de qualidade vigentes no mundo.

O grupo tem como missão produzir insumos para construção civil, com qualidade e responsabilidades socioambientais, alinhados as inovações do mercado e capazes de fidelizar os clientes. E como visão tem a busca de ser referência nacional na fabricação de insumos para construção civil, atuando nos mercados de revestimentos cerâmicos e cimentos, impulsionando o desenvolvimento nas regiões onde atua.

A fábrica analisada conta com 05 linhas de produção, trabalhando com 7 tipos de formatos (tipologias), sendo subdividido em 263 tipos de decorações. A indústria analisada fabrica pastilhas cerâmicas, monoporosas e porcelanatos. No quadro a seguir estão descritos os produtos fabricados, suas tipologias e suas respectivas linhas de produção.

Quadro 8 - Formatos e capacidade das linhas de produção

Linha de produção	Formatos produzidos	Tipologia	Capacidade de Produção
01	10x10cm e 20x20cm;	Cerâmica	4.900m ² /dia
02	32x64cm, 32x66cm, 50x50cm e 61x61cm	Porcelanato / Monoporosa	7.000 m ² /dia
03	05x10cm / 05x10cm Tela Assimétrica	Cerâmica	2.200 m ² /dia
04	50x50cm e 61x61cm	Porcelanato	8.000 m ² /dia
05	10x10cm	Cerâmica	5.000 m ² /dia

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

As linhas de produção analisadas possuem capacidades diárias de produção descritas no quadro acima, funcionando todos os dias em três turnos de 8 horas. A capacidade diária da fábrica considerando as cinco linhas de produção é de 27.100 m², os produtos finais são paletizados conforme cada formato.

Priorizando ser referência na fabricação de insumos para construção civil, a empresa busca sempre atender as Normas Brasileiras Regulamentadores NBR 13818 /

1997 e NBR 15463 / 2013, objetivando sempre a satisfação do cliente garantindo a qualidade dos seus produtos.

A empresa estudada é do ramo cerâmico, atua em cenário nacional. Seus principais clientes nacionais encontram-se na região nordeste, e está expandindo o seu mercado para as demais regiões do país. A empresa iniciou exportações no ano de 2015 e atualmente conta com clientes na América do Norte, Sul e Central e alguns países do continente africano.

Os seus principais concorrentes são empresas fabricantes de placas de revestimento cerâmico e porcelanatos, localizadas principalmente no Estado de Pernambuco, Bahia, São Paulo e Santa Catarina.

A empresa estudada fabrica diversos tipos de produtos, atendendo a todas as classes. Produz desde porcelanato até a cerâmica comum. Os materiais defeituosos também são comercializados, estes com o preço mais baixo. Isso confere à empresa a oportunidade de competir em diversos segmentos de mercado.

Não há fabricação de produtos customizados, a escolha dos materiais pelos clientes é realizada através de catálogos e mostruários. Para o atendimento de certos clientes, por exemplo, as construtoras e lojas de materiais de construção trabalham sempre com prazos de entrega preestabelecido, pois caso não haja material em estoque, deverá ser realizado a programação de produção para o produto determinado, assim, dificilmente atrasa a entrega de seus pedidos.

4.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CERÂMICA E PORCELANATO

O sistema de produção é em massa e a produção possui layout linear, sendo compatível com as características necessárias para a execução do processo.

O processo tem início pelo recebimento das matérias primas, logo em seguida é realizada a pesagem de cada insumo que é feita pelo operador de pá carregadeira, o mesmo é auxiliado por um display, onde é mostrado a leitura da pesagem de cada matéria-prima, peso esse que é preestabelecido pelo laboratório de massa.

Figura 17 - Pesagem da Matéria Prima

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Após o término da pesagem é iniciado o processo de carga do moinho, todas as matérias-primas que estão no caixão da balança são transportadas através de esteiras até o respectivo moinho.

Figura 18 - Esteiras transportadoras da Matéria Prima

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O setor de preparação de massa é composto por moinhos e atomizadores que contribuem para obtenção do pó da cerâmica. A moagem é a parte do processo que “tritura” as matérias-primas, a principal característica dessa fase é diminuir as partículas e homogeneizar a formulação.

Figura 19 - Moinhos de preparação de massa



Moinho de 32.000 Kg

Moinho de 9.000 Kg

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A barbotina é o resultado da mistura das matérias-primas, água e aditivo que facilita o processo de moagem.

Figura 20 – Barbotina



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Para o aquecimento da câmara do atomizador utiliza-se duas fontes de energia, o gás natural e o coque de petróleo através da fornalha de leito fluidizado.

Figura 21 - Fornalha

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A atomização é o processo de secagem onde a barbotina passa de seu estado líquido para o sólido ao receber uma temperatura média de 700°C, transformando-se quase que instantaneamente em pó.

Figura 22 - Atomizador

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Logo em seguida na prensa, o pó atomizado é submetido a uma pressão de aproximadamente 250 kgf/cm² que fornece ao produto uma resistência suficiente para suportar as etapas seguintes.



Figura 23 - Prensas
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Outra máquina que faz parte do processo cerâmico é o secador, nele o piso recém-prensado desliza sobre rolos motorizados onde toda a água é retirada do produto a fim de se obter uma maior resistência para as seguintes aplicações do processo. Esta fase do processo tem a função de reduzir o conteúdo de água necessária à modelagem, aumentando a resistência mecânica do material seco, de forma a permitir que a peça resista aos esforços mecânicos a que será submetida na esmaltação.



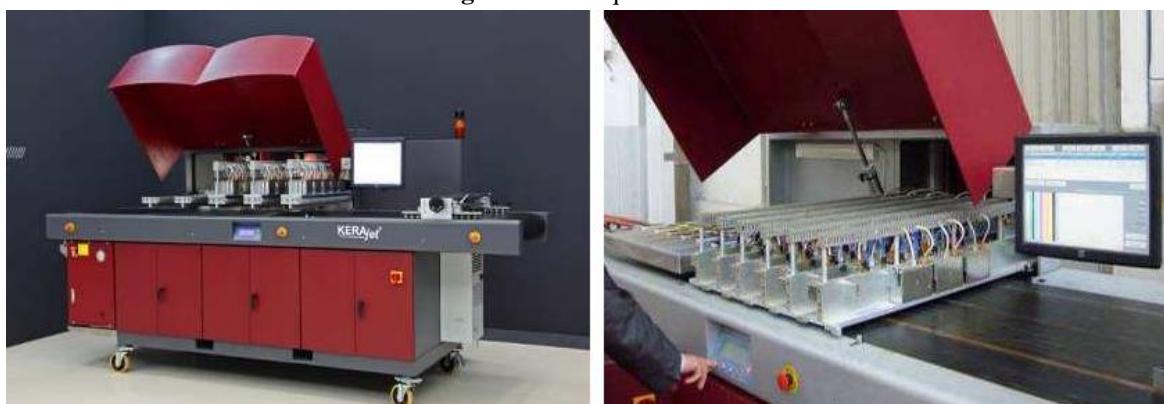
Figura 24 - Secadores
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

No setor de esmaltação, o produto passa por correias onde recebe uma sequência de aplicações de produto que fornecerá à peça as características necessárias para o produto final. Alguns dos produtos aplicados são o engobe que permite esconder a coloração da massa e impermeabilizar o produto, o esmalte que determina a característica final do produto e decorações.

Figura 25 - Esmaltação

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Dependendo das características que se desejam obter, utiliza-se a máquina HD, que possui tecnologia de impressão em revestimento cerâmico, capaz de reproduzir com perfeição e qualidade fotográfica efeitos como mármores, madeiras, pedras, papéis de parede e mais uma infinidade de formas.

Figura 26 - Máquina HD

Fonte: Manual Kerajet (2015)

Em seguida, ocorre o processo de queima que realiza o ciclo de 30 a 40 minutos com temperaturas entre 1.150°C e 1.200°C, conferindo as características finais do produto.

Figura 27 – Fornos

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Após o processo de sinterização (queima) as patilhas cerâmicas são teladas no setor chamado de ponto de cola, para o formato 10x10, são agrupadas nove peças cerâmicas em uma tela. No caso do formato 05x10 são agrupadas dezoito peças em uma única tela.

Figura 28 - Ponto de cola

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Os porcelanatos são retificados na esquadrejadora, esta etapa consiste em um equipamento onde discos diamantados fazem a retífica ou corte, realizando o acabamento lateral da peça que garantem dimensões precisas no porcelanato.

Figura 29 – Esquadrejadora

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Por fim, ocorre-se a classificação do produto, que é totalmente automatizada, separa o piso finalizado de acordo com sua qualidade e bitola. A empresa conta na produção de produtos considerados como de grande formato conta com a máquina *Flawmaster 5G* que faz o monitoramento de produtos acabados referente à classificação visual, permitindo assim um maior controle das peças e passando uma maior confiança de que os produtos que chegarão aos clientes serão de excelente qualidade.

Além desse monitoramento na própria linha existe a inspeção dos produtos acabados, preestabelecidos na norma NBR 15818, que fala sobre a inspeção de produtos acabados de, pelo menos, de 50% do lote produzido, garantindo a segurança na finalização da cadeia produtiva em que está inserida.

Na sequência é embalado automaticamente e paletizado para então seguir para estoque, conforme ilustrado na figura a seguir:

Figura 30 - Paletização

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Após o processo de paletização os produtos seguem para o setor de expedição, ou seja, os produtos estão prontos para serem comercializados.

Figura 31 - Expedição



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O quadro a seguir descreve de maneira sucinta as atividades descritas anteriormente e os controle adotados por cada setor.

Quadro 9 - Formatos e capacidade das linhas de produção

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	CONTROLE DE PROCESSOS
Estoque de Matéria Prima	As matérias-primas são armazenadas. São utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos tem sua origem direta da natureza. É necessária uma escolha seletiva para obtenção de melhores produtos finais.	Controle de recebimento da matéria-prima
Moagem	Principal objetivo é reduzir o máximo possível, o tamanho dos grãos das matérias-primas envolvidas no processo a fim de garantir a homogeneização da massa cerâmica dentro de uma granulométrica adequada para o processo.	Relatório operacional de moagem
Atomização	É realizada a evaporação parcial da água contida no pó moído anteriormente, resultando assim a formação de aglomerados esféricos com características e propriedades adequadas como o tamanho e o formato adequado para as etapas em sequência	Controle de lanças, controle diário de processo, relatório operacional de atomização, Parâmetros de massa atomizada.
Conformação das Peças por Prensagem	Onde ocorre a compactação da matéria-prima (aglomerados) até um menor volume possível, através de uma pressão mecânica e então se obtendo um empacotamento e agregação das partículas.	Controle diário de processo
Secagem	Ocorre a eliminação da maior parte da água de	Relatório operacional de

	constituição e de adição.	umidade.
Esmaltação e Decoração	Etapa onde a peça cerâmica a verde e seca, recebe aplicações de esmaltes cerâmicos, tintas e decoração. Onde se obtém os efeitos estéticos desejados do produto final.	Monitoramento da esmaltação, ficha de controle de processo, fichas de correção e <i>Check list</i> da HD.
Sinterização (Queima)	Etapa de tratamento térmico de temperaturas muito elevadas, onde o sistema de partículas da peça sofre alterações em suas propriedades e alcanças a máxima densificação possível e aumentando a porosidade do material.	Relatório operacional de queima, acompanhamento das aplicações de engobe de muratura, fichas de provas de queima, controle de troca de rolos, controle de ar dos queimadores.
Acabamento	Nesta etapa são conferidas as peças de porcelanato e monoporosa um processo de desbaste e retificação (acabamento nas boras)	Verificação dimensional e de acabamento lateral; Controle de troca de ferramentas de corte
Classificação do produto final	Por fim são classificadas de acordo com o sistema de qualidade, por meio de uma máquina Surface (<i>FlawMaster 5G</i>).	<i>Check lists</i> das máquinas de escolha (Surface, calibre e planar)
Separar por classificação	As peças são separadas conforme sua classificação e embaladas, pela máquina de escolha onde são separadas de acordo com as bitolas.	Registro de produção diária, relatório de qualidade parcial
Paletização	As caixas são colocadas nos paletes.	Verificação de amarração dos paletes e de impressões nas embalagens
Estoque	Com os paletes formados são transportados para o estoque	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Dado que o processo possui uma produção em larga escala com interrupções durante a produção para troca de produtos e formatos nas linhas de produção, possuindo as trocas de formatos de uma linha de produção um tempo consideravelmente grande e com se tem um *mix* de produtos relativamente grande de 263 tipos de decorações e 7 tipos de formatos, o processo pode ser classificado como discreto repetitivo e em massa.

4.3 INDICADORES DO PROCESSO PRODUTIVO E RECLAMAÇÕES DOS CLIENTES

Um dos maiores objetivos das organizações é diminuir os custos da produção principalmente aqueles que estão relacionados a perdas e desperdícios. O presente trabalho realizará uma análise dos resultados obtidos a partir de ferramentas do CEP associadas as variações do processo produtivo.

Uma das principais maneiras de minimizar os custos com perdas no processo produtivo é aumentar a qualidade do processo, através de melhorias nos controles, padronização e acompanhamento contínuo dos níveis de aprendizagem dos colaboradores.

No setor de embalagem é onde ocorre o final do processo, nas linhas de produção de porcelanato e monoporosas ocorre a inspeção automática de 100% da produção, através de máquina de classificação. Nas linhas de fabricação de pastilha cerâmica ocorre a inspeção visual dos produtos. Para todos os produtos fabricados são realizadas inspeções periódicas pelos inspetores de qualidade de pelo menos 50% da produção. Após os processos de inspeção, os produtos são classificados em três tipos: “Tipo A”, “Tipo C” e “Quebra”.

Os produtos da indústria cerâmica na qual foi realizado este estudo, são classificados como de qualidade “A” aqueles que cumprem integralmente as normas técnicas brasileiras da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 13818 e NBR 15463 equivalentes às normas internacionais ISO 10545 e ISO 13006 para uso no revestimento de pisos, paredes e fachadas, ou seja, possuem no mínimo 95% de peças isentas de defeitos de fabricação visíveis quando observadas a distância padrão de 1,0 metro.

Nos produtos tipo C, todas as peças apresentam defeitos visuais de média intensidade, podendo haver tolerância fora dos limites normativos, sendo comercializadas a preços bastante inferiores quando comparados aos produtos tipo A.

As quebras são identificadas como peças que contenham defeitos de grande intensidade, não havendo condições para assentamento, este material é vendido como insumo para produção de cimento para umas das empresas do grupo, a um preço bastante inferior aos custos de produção.

As perdas dos setores antecedentes a sinterização são descritas como massa atomizada, biscoito seco e biscoito esmaltado, estas retornam ao processo, sendo

reprocessadas no setor de preparação de massa. Quando se trata de perdas em processo, subentende-se gastos desnecessários de matéria-prima, energia, água, gás, mão de obra, desgaste de máquinas e equipamentos, entre outros.

Observa-se então que para que ocorra aumento dos lucros da empresa e para que esta seja mais competitiva no mercado, é de fundamental importância que seja reduzida a incidência de produtos tipo C e de quebras de produto acabado e em processo que podem ser minimizadas com redução da variabilidade do processo.

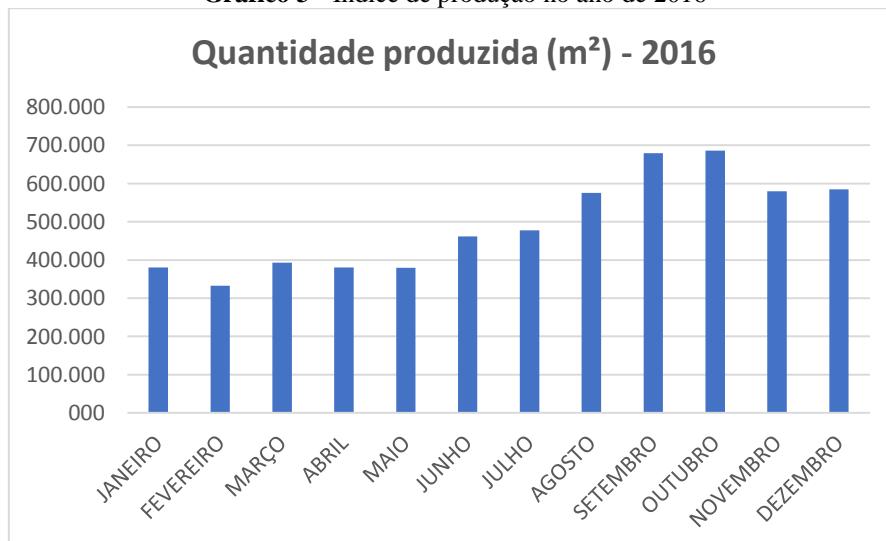
Diante do exposto acima e tendo em vista que há um alto volume de produção, e que as perdas do processo estão diretamente relacionadas a aumento de custos, consequentemente ao aumento do preço do produto, percebe-se a necessidade de um estudo mais aprofundado acerca deste tema.

4.3.1 Indicadores do processo produtivo

A Indústria analisada possui três indicadores fundamentais: eficiência, qualidade e quebra. Estes índices são registrados diariamente nos relatórios de produção, onde estão registrados os valores em metros quadrados e percentuais. Neste estudo estão contidas as seguintes informações: produção diária, produção mensal, médias e metas diárias, metas mensais, projeções de produção, índices de qualidade e quebra diário e mensal.

Os gráficos a seguir retratam os índices de produção, qualidade e quebra da fábrica estudada no ano de 2016.

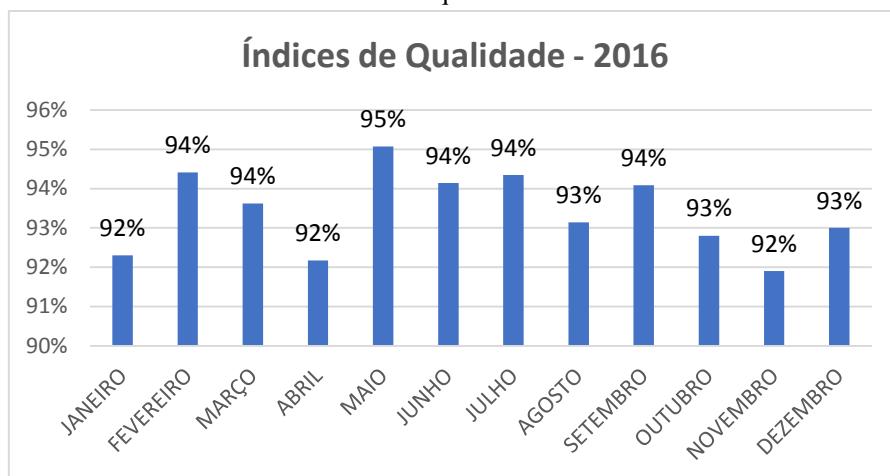
Gráfico 3 - Índice de produção no ano de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Para determinar o índice de qualidade, faz-se uma relação entre o total de metros produzidos de qualidade “A” e o total da produção (somatório do tipo “A” e “C”).

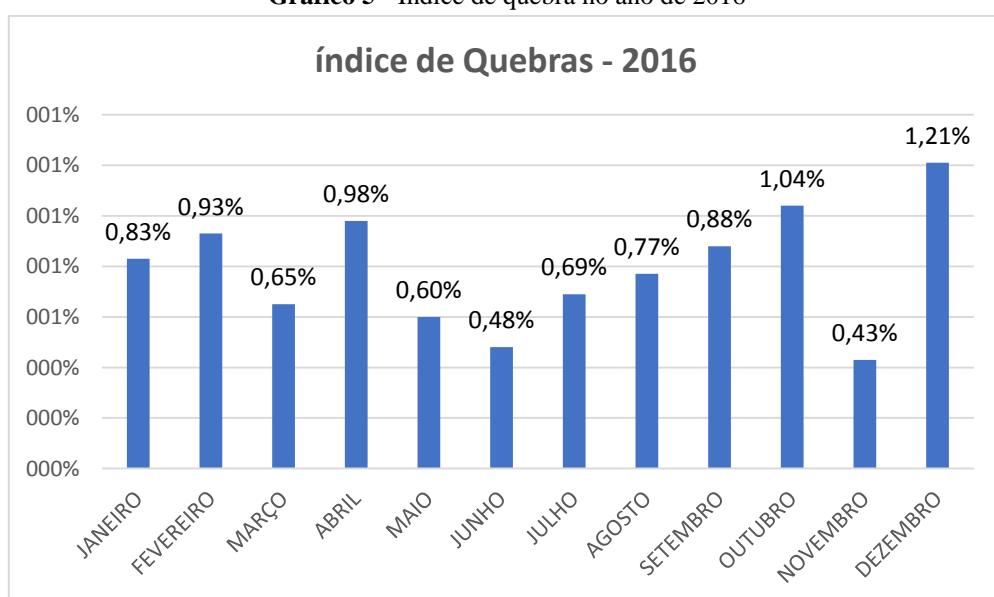
Gráfico 4 - Índice de qualidade no ano de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O gráfico a seguir mostra os índices de quebras mensais, do ano de 2016, este valor é obtido a partir da relação entre os valores efetivos de quebra sobre o somatório de metros produzidos.

Gráfico 5 - Índice de quebra no ano de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Tendo em vista que a classificação do material ocorre ao final do processo produtivo, que os custos de fabricação de “A” e “C” são semelhantes e que os produtos “C” são comercializados a preços inferiores, é notório que quanto maior a produção de produtos tipo “A” maior será a margem de lucro e quanto maior a produção de Tipo “C” menor será a margem de lucro.

4.3.2 Custos da qualidade

Os custos da não-qualidade da indústria analisada referem-se aos produtos tipo “C” e quebra, há também os materiais cerâmicos que não passaram pelo processo de sinterização (queima), ou seja, são as perdas em de materiais em processos, ocorridas nos setores de prensa e esmaltação, estes materiais são chamados de biscoitos prensados e biscoitos esmaltados respectivamente. Apesar destes materiais retornarem ao setor de preparação de massa para serem reprocessados, há consumo de insumos, água, energia elétrica, etc.

A parir dos dados obtidos, e através do preço médio de cada produto, foram calculados os custos aproximados da não-qualidade (produtos tipo “C” e quebras). As tabelas abaixo retratam os resultados obtidos de acordo com cada tipologia cerâmica:

Tabela 1 - Custos da não-qualidade: Vendas de produtos tipo C

Tipologia	Formato	Preço médio (Tipo A)	Preço médio (Tipo C)	Produção Anual Tipo C (m ²)	Diferença de preço entre tipo A e C em vendas de produtos tipo C
Cerâmica	05x10	R\$ 27,50	R\$ 17,07	21.018,66	R\$ 219.224,62
Cerâmica	10x10	R\$ 24,04	R\$ 15,21	96.167,54	R\$ 849.159,41
Cerâmica	20x20	R\$ 21,63	R\$ 14,98	19.602,24	R\$ 130.354,92
Porcelanato	32x64	R\$ 23,22	R\$ 13,93	28.076,34	R\$ 260.829,21
Monoporosa	32x66	R\$ 24,95	R\$ 14,97	29.833,78	R\$ 297.741,11
Porcelanato	50x50	R\$ 20,35	R\$ 14,25	98.585,11	R\$ 601.369,18
Porcelanato	61x61	R\$ 26,30	R\$ 18,41	114.481,11	R\$ 903.255,94
<i>Total</i>				407.764,79	R\$ 3.261.934,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Ao analisar o quadro acima, foi calculada a diferença aproximada de preços de produtos tipo “A” e produtos tipo “C” observou-se uma perda anual de R\$ 3.261.934, este valor representa o quanto que a empresa deixa de ganhar com a fabricação de produtos tipo C. No quadro a seguir calculam-se as perdas relacionada a venda de produtos tipo C e a quantidade de metros refugados no ano de 2016, obteve-se uma perda anual de R\$ 4.398.146,76.

Tabela 2 - Custos qualidade tipo: Produtos tipo C

Quebra anual (m ²)	Produção tipo C (m ²)	Preço médio (R\$)	Custo total da não qualidade
47.345	407.765	24,00	R\$ 4.398.146,76

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

É de fundamental importância analisar quais são as principais causas destes custos, formas de controle e as ferramentas que estão sendo utilizadas para resolver ou minimizar os problemas identificados. O valor descrito acima, representa aproximadamente 4% do valor faturado no ano em questão.

4.3.3 Análise dos defeitos que apresentam maior incidência de reclamações e associação aos setores causadores

Tendo em vista a necessidade de identificação das causas das reclamações, a partir do levantamento de dados gerados pelo Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC) verificou-se quais foram as principais causas de reclamações pelos clientes no ano de 2016, descritas na tabela abaixo.

Tabela 3 - Principais reclamações do ano de 2016
Principais Reclamações – 2016 %

1º	Diferença de Tonalidade	23,92%
2º	Peças/Pontas Quebradas	22,90%
3º	Problema de Planaridade	19,85%
4º	Manchas	7,63%
5º	Fora de Esquadro	4,83%
6º	Defeitos Superficiais	3,82%

7º	Trincas	3,31%
8º	Diferença de Tamanho	2,80%
9º	Lascamento	2,29%
10º	Dificuldade de Limpeza	1,78%
11º	Defeito no esmalte	1,53%
12º	Contaminação na Massa	1,27%
13º	Planaridade – Pontas Levantadas	0,76%
14º	Problema de Textura	0,76%
15º	Risco Superficial	0,76%
16º	Problemas na Retífica	0,51%
17º	Produto Misturado	0,51%
18º	Planaridade – Pontas Caídas	0,25%
19º	Desgaste	0,25%
20º	Manchas/Marca D'água	0,25%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

As patologias cerâmicas podem ser associadas a deficiências em determinados setores da fábrica.

Quadro 10 - Associação defeitos e setores

Ranking de incidência	Tipo de defeito	Setor Relacionado
1º	Diferença de Tonalidade	Fornos / Esmaltação
2º	Peças/Pontas Quebradas	Embalagem
3º	Problema de Planaridade	Fornos
4º	Manchas	Esmaltação
5º	Fora de Esquadro	Retífica
6º	Defeitos Superficiais	Esmaltação / Prensas
7º	Trincas	Esmaltação / Prensas
8º	Diferença de Tamanho	Fornos
9º	Lascamento	Embalagem
10º	Dificuldade de Limpeza	Esmaltação
11º	Defeito no esmalte	Esmaltação
12º	Contaminação na Massa	Preparação de massa

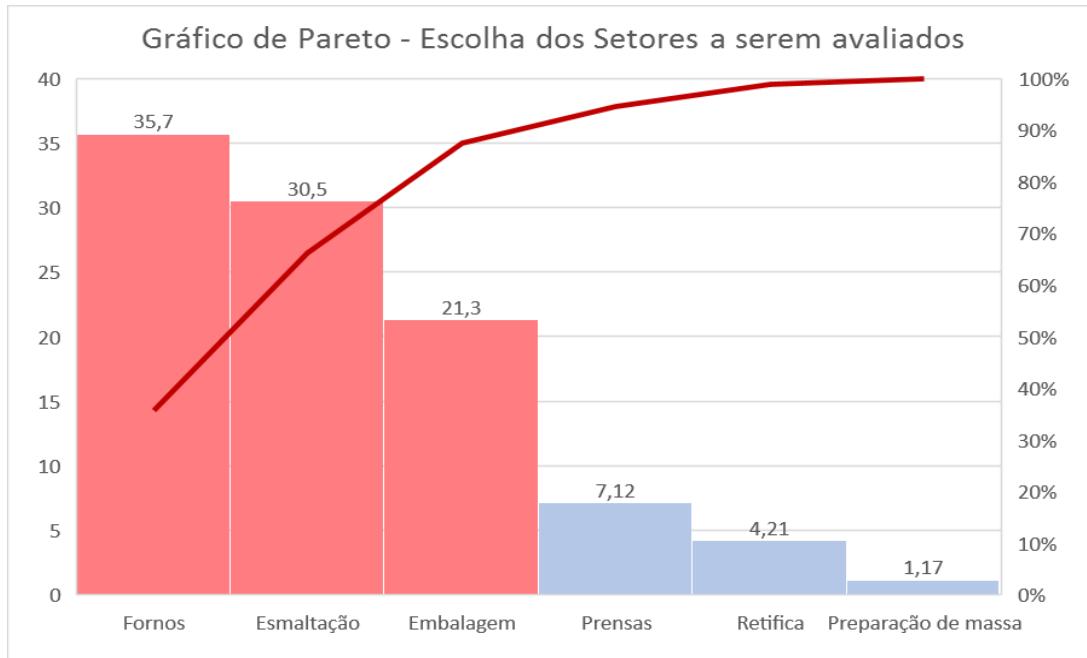
13º	Planaridade - Pontas Levantadas	Fornos
14º	Problema de Textura	Esmaltação
15º	Risco Superficial	Esmaltação
16º	Problemas na Retifica	Retífica
17º	Produto Misturado	Embalagem
18º	Planaridade - Pontas Caídas	Fornos
19º	Desgaste	Esmaltação
20º	Manchas/Marca D'água	Esmaltação
21º	Problema de Decoração	Esmaltação
22º	Produto Descaracterizado/Fora de Padrão	Esmaltação

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Junto ao departamento técnico da empresa, cada defeito foi relacionado ao setor pelo qual é originado, associando também a suas respectivas incidências nas reclamações dos clientes. O quadro 12 retrata a associação do defeito com o setor produtivo.

4.3.4 Setor a ser analisado

O processo de escolha do setor a ser analisado inicia com a identificação causas decisivas para a ocorrências reclamações procedentes dos clientes; em seguida foram identificados os produtos que apresentam maior incidência de reclamações; foram mensurados os custos da não qualidade (produção de produtos tipo c e das quebras) e foram identificados os pontos críticos da produção (cada defeito foi relacionado ao setor causador). O gráfico a seguir retrata os resultados a partir dos dados gerados anteriormente.

Gráfico 6 - Gráfico de Pareto relacionando defeitos e setores

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O Diagrama de Pareto é um gráfico de barras que põe em ordem decrescente as frequências das ocorrências, permitindo a priorização dos problemas que estão sendo abordados, apresentando, também, a curva de porcentagens acumuladas. Seu principal objetivo é permitir uma simples e rápida visualização e identificação das causas ou problemas mais urgentes, possibilitando tomadas de decisões mais ágeis e permitindo a concentração de esforços sobre as causas prioritárias. Para sua elaboração foram utilizados fatores qualitativos.

A partir do exposto, percebe-se que os setores de Fornos, Esmaltação e Embalagem possuem a maior representatividade em geração de defeitos. Deste modo, o setor de fornos foi escolhido como objeto de estudo desta pesquisa, pois ele apresenta a maior incidência de defeitos relacionados e também está diretamente associado ao defeito de variação de tonalidade (que foi a principal causa de ocorrências de reclamações no ano de 2016) e que terá enfoque neste trabalho.

O setor de fornos é onde acontece a sinterização do biscoito cerâmico. Ele foi classificado como o principal gerador de não conformidades. Para este setor foram relacionados os seguintes defeitos: Diferença de tonalidade, problemas de planaridade e diferença de tamanho.

Em entrevistas realizadas com o controle de qualidade e com a área técnica da fábrica, um dos fatores que leva ao aparecimento de variação de tonalidade está associada a queima da cerâmica. Percebe-se que se houver a variação de tamanho maior

ou igual a 4 mm de uma peça para outra, torna-se perceptível a variação de tonalidade. Visualmente peças maiores (menos queimadas) apresentam coloração mais clara e peças menores (mais queimadas) apresentam colorações mais escuras. A figura abaixo retrata a variação de tonalidade em peças já assentadas.

Figura 32 - Variação de tonalidade



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

A análise da variável foi realizada por meio da tabulação dos dados obtidos em fichas de registros, que foram preenchidas pelos operadores durante o processo produtivo. O modelo da ficha e a planilha utilizada para tabulação feita no Excel estão dispostos nos anexos.

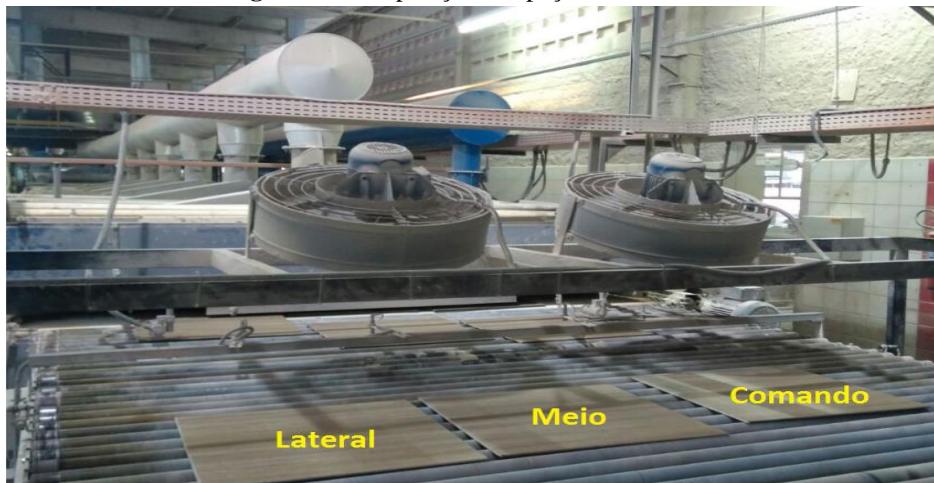
4.4. MEDIÇÃO E ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO USANDO FERRAMENTAS DE CEP

Nesta seção serão aplicadas ferramentas do controle estatístico de processo, na variável Dimensão da peça com o objetivo de identificar as possíveis causas de variação no processo de queima e no produto final.

4.4.1 Amostragem

As coletas de dados foram realizadas pelos forneiros da indústria analisada. A cada hora, durante um período de 07 dias, foram medidas três peças, que compõem uma fila ou pente do forno. As posições são denominadas como Lateral, Meio e Comando do forno, conforme ilustrado a seguir.

Figura 33 - Disposição das peças no forno



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Para esta pesquisa foram analisadas as médias dos quatro lados do porcelanato 61x61. A princípio a amostragem foi feita durante o período de uma semana, resultando em 789 médias, resultado das 3.156 medições das quatro laterais do porcelanato. O processo cerâmico se dá em larga escala, deste modo, quanto maior a amostra, maior será a representatividade dos resultados a serem obtidos.

4.4.2 Teste de normalidade

Anteriormente a qualquer análise, seja dos histogramas ou gráficos de controle é indispensável verificar se as amostras possuem distribuição aproximada da Curva Normal. Para Montgomery (2009), para que se tenha maior confiabilidade das análises realizadas no processo através do controle estatístico é fundamental que os dados possuam distribuição normal. Para isso, o teste de normalidade de Kolmogorov - Smirnov deve ser aplicado para averiguar se a distribuição de probabilidade em comparação com os dados coletados aproxima-se de uma distribuição normal.

De acordo com Montgomery (2004), é importante assegurar que os gráficos de controle X e R sejam feitas para dados que apresentem distribuição normal. Pelo fato de os limites de controle obtidos através de dados não normais não terem confiabilidade, não sendo apropriados para utilização no controle estatístico de processo.

Fundamentando a situação descrita, os dados obtidos a partir das fichas de registro foram submetidos aos testes de normalidade. Foi utilizado o Software MINITAB® 15.0, os dados obtidos foram submetidos ao teste de Komolgorov-Smirnov,

que fornece as probabilidades acumuladas ponto a ponto, de modo a comparar um valor crítico tabelado relacionado a α e n .

O teste de Kolmogorov – Smirnov avalia as seguintes hipóteses:

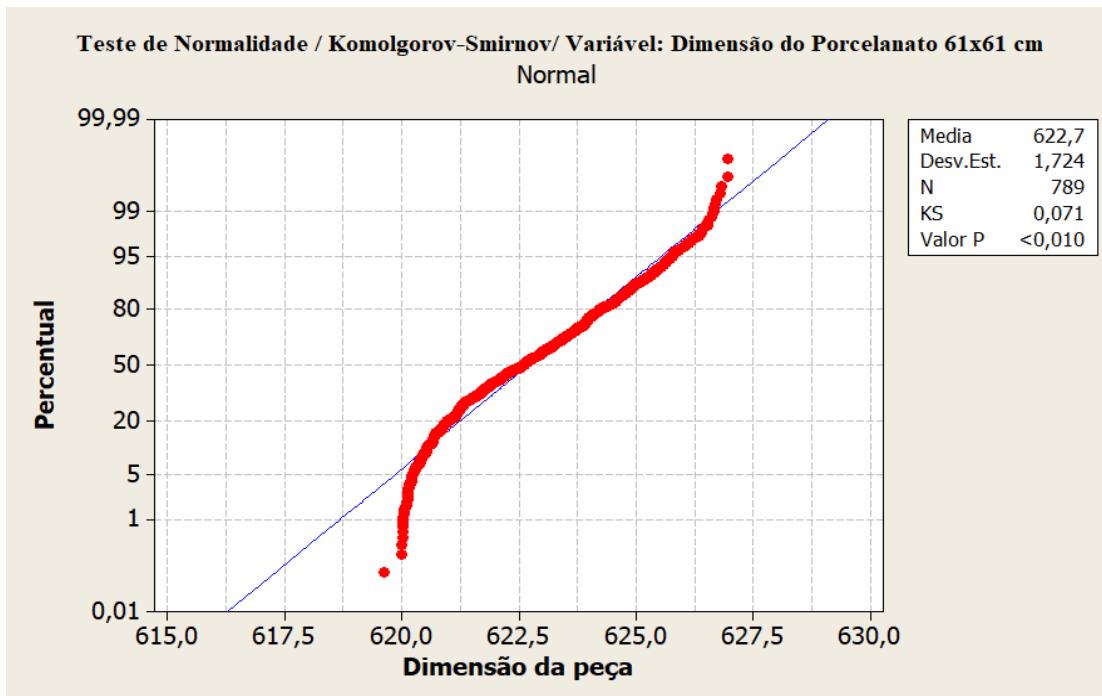
- H_0 : A amostra segue uma distribuição normal - (Hipótese Nula)
- H_1 : A amostra não segue uma distribuição normal - (Hipótese Alternativa)

Desta maneira, é analisada a diferença absoluta máxima, a partir da função de distribuição acumulada adotada para a amostra (admitindo um comportamento normal, para esta pesquisa), e da função de distribuição empírica da amostra.

Posteriormente, é comparada esta diferença com um valor crítico, para um certo nível de significância (α), que neste estudo será adotado 0,05. Portanto, para quaisquer *Pvalues* menores que 5% será rejeitada a hipótese nula H_0 , isto é, o teste rejeita a hipótese de normalidade dos dados.

Foi definida como hipótese nula, os dados que seguem a distribuição normal e como hipótese alternativa, os dados que não seguem a distribuição normal. Se o valor da probabilidade (P) for menor que o nível de significância, que é 0,05, a normalidade é rejeitada.

Gráfico 7 - Teste de normalidade Komolgorov-Smirnov



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Para ser uma distribuição normal, o teste de normalidade Komolgorov-Smirnov, indica que o *p-Value* deve ser maior ou igual a 0,05. O gráfico apresentado

mostra que a distribuição não segue a normalidade, pois apresentou um valor menor que 0,010. A partir dos resultados obtidos, foram levantadas suposições para a distribuição não normal da amostra. Foram analisadas as seguintes hipóteses:

- O grande número de dados utilizados na amostra. Montgomery (2004) corrobora que a não normalidade pode ser causada pelo excesso de dados coletados que indicaram que a normalidade não era apropriada.
- A existência de valores atípicos na amostra, pode causar situações discrepantes na amostra estudada.
- Os dados submetidos ao teste de normalidade são as médias dos quatro lados dos porcelanatos em cada fileira (pente) do forno. Deste modo, a análise das médias pode gerar resultados equivocados.
- Para melhor compreensão do grau de associação entre as variáveis, tamanho das peças na saída do forno em cada uma de suas posições. Foram recolhidas amostras das respectivas posições analisadas, foram recolhidos dados num período de 07 dias, para avaliação através do estudo de correlação de variáveis quantitativas.

Antes da análise, os dados foram tratados para uma melhor visualização dos gráficos de dispersão. Com intuito de atingir uma distribuição normal foram adotadas algumas medidas descritas a seguir:

- Foram retirados os valores atípicos. De acordo com Oliveira (2009), a implantação do controle estatístico do processo depende da eliminação das causas atípicas, ou seja, o processo deve estar sob controle.
- Foram eliminados os dados cuja diferença de tamanho entre as máquinas ultrapassem ± 3 mm em relação ao tamanho central. O limite inferior é de 621 mm e o limite superior de especificação é 624 mm.
- Os dados obtidos foram analisados conforme cada posição do forno, que possuem condições de queima distintas, tornando cada análise independente.
- A amostra foi reduzida de 07 para aproximadamente 01 dia, correspondendo a produção de um único produto. Ao analisar o teste de normalidade, foram verificados valores discrepantes tornam difícil a análise dos dados. O tamanho amostral foi reduzido, e as análise refeita baseada no Teorema do limite central. De acordo com Morettin e Bussab (2003), amostras de 30 a 50 componentes proporcionam boas aproximações para amostras de populações próximas ou não da normalidade. Portanto foram analisadas 30 amostras que representam aproximadamente um dia de trabalho,

analizando separadamente cada posição do forno, simulando um dia comum de produção.

Após a realização do tratamento estatístico, percebe-se que todos os *P-values* possuem resultados superiores a 5%, ou seja, os dados seguem uma distribuição normal, conforme quadro a seguir:

Tabela 4 - Teste de normalidade para as médias dos processos por máquinas

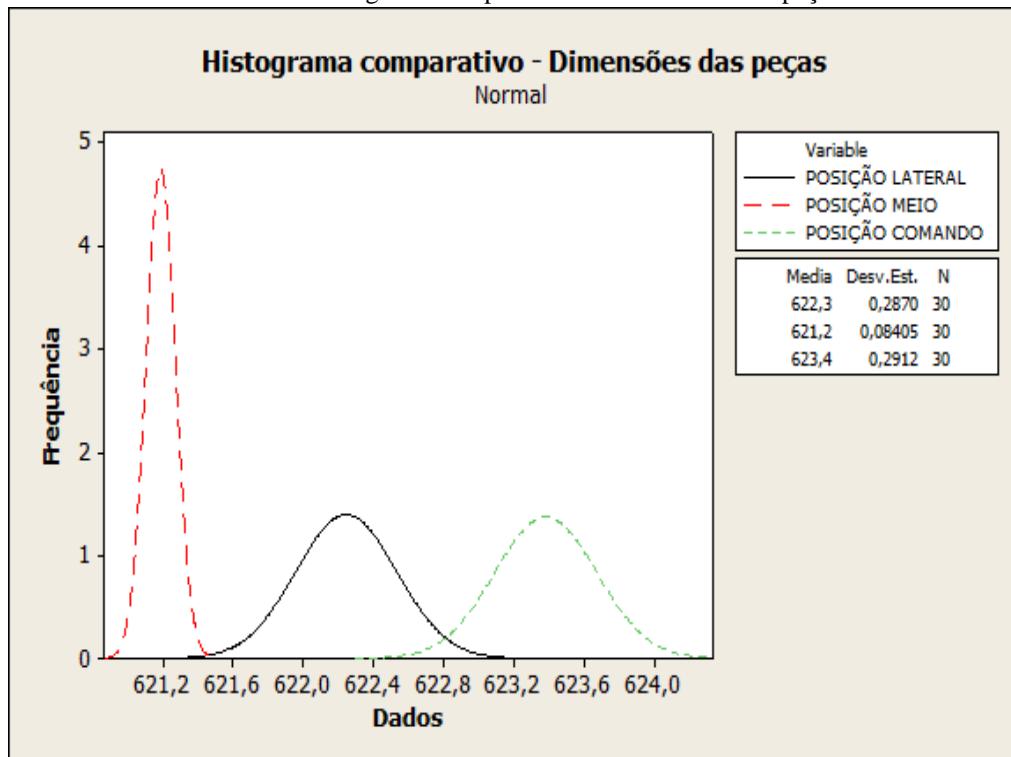
Teste de normalidade - Kolmogorov-Smirnov				
Posição	Média	Desvio Padrão	p-Value	KS
Lateral	622,4	0,02870	0,053	0,171
Meio	621,2	0,08653	> 0,150	0,112
Comando	623,4	0,29120	> 0,150	0,137

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Portanto, com um nível de confiança de 95%, confirma-se que os dados da amostra analisada obedecem a curva de Gauss (Curva normal), ou seja, adotam uma distribuição normal. Este resultado foi alcançado por meio de uma redução significativa do tamanho amostral, com o objetivo de corrigir os efeitos originados pela não-normalidade, além de reduzir os valores discrepantes da amostra (*outliers*).

4.4.3 Histogramas comparativos

A avaliação de dados por meio de histogramas comparativos possui visualização objetiva por meio da facilidade da interpretação do comportamento dos dados. O histograma é uma representação gráfica da distribuição de frequências de um conjunto de dados quantitativos contínuos. A partir da sua utilização, torna-se possível a visualização da variação dos dados em um determinado intervalo de tempo.

Gráfico 8 - Histograma comparativo das dimensões das peças

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Portanto, a utilização do histograma foi aplicada neste estudo, pela facilidade de visualização e comparação entre as posições do forno analisadas. Deixando nítidas as peculiaridades de cada item analisado.

O gráfico acima representa as posições de sinterização. No histograma do processo, observa-se uma dispersão relevante das posições "Meio" e "Lateral" e "Comando". Ao analisar o histograma, é notório que há variação de queima entre as posições analisadas. Observa-se então que as peças do "Meio" possuem maior retração em relação as peças do "Comando" e "Lateral".

Após tratamento dos dados observa-se que há uma dispersão bem menor quando comparados aos dados que não foram tratados que possui alguns valores discrepantes. Estes dados sugerem que as causas das variações podem ser técnicas relacionada ao equipamento ou operacionais.

4.4.4 Análise dos gráficos de controle

Durante a elaboração deste estudo achou-se adequada a utilização conjunta dos gráficos de controle da média (\bar{X}) e da amplitude (R), por se tratar de uma variável contínua.

Segundo Carpinetti (2005), se variável a ser controlada é uma variável contínua, o usual é monitorar o processo por um par de gráficos de controle: um para monitorar a centralidade e outro para monitorar a dispersão da variável. Na maior parte das vezes, os gráficos utilizados são o da média amostral (\bar{X}) para monitorar a centralidade e o da amplitude amostral (R) para monitorar a dispersão.

Em definição dos parâmetros do gráfico de controle, a linha central (LC) será igual ao valor da dimensão especificado para o processo e produto em questão, isto é, igual a 622 mm, e seus limites de controle (LIC e LSC) serão definidos como três desvios-padrão de afastamento da LC, para cada estágio particularmente, ou seja, cada estágio da amostra terá o limite de controle calculado separadamente.

Para melhor analisar o comportamento de cada posição do forno, foi realizado um *Run Chart* para cada item específico com dados das dimensões das peças ao longo do tempo. Este gráfico pode ser utilizado para análise de dados com intuito de verificar quais são as tendências dos dados ao longo do processo produtivo, permitindo a averiguação das causas especiais de variação no processo.

Foram elaborados gráficos de controle para análise do processo avaliado. Aplicou-se os gráficos do tipo $\bar{X} - R$ (média – amplitude), tendo em vista que o tamanho da amostra é pequeno. Também foi utilizado o desvio padrão total de seis sigma, os limites de controle fornecidos a três desvios padrão abaixo da linha central (limite inferior) e três desvios acima do limite central (limite superior). A linha central corresponde à média da estatística. A análise foi realizada a partir das disposições das peças no forno retratadas na Figura 33.

Para Rebelato (2006), nos gráficos X e R (média e amplitude), são registradas as médias amostrais e a variabilidade do processo é avaliada através da amplitude.

A verificação CEP pode ser realizada a partir de vários testes que detectam os pontos fora de controle, também chamados de causas especiais. No *software* estatístico de monitoramento, caso sejam requisitados, são gerados todos os testes que verificam se o processo está ou não sob incidência de causas especiais. Os testes estão descritos a seguir:

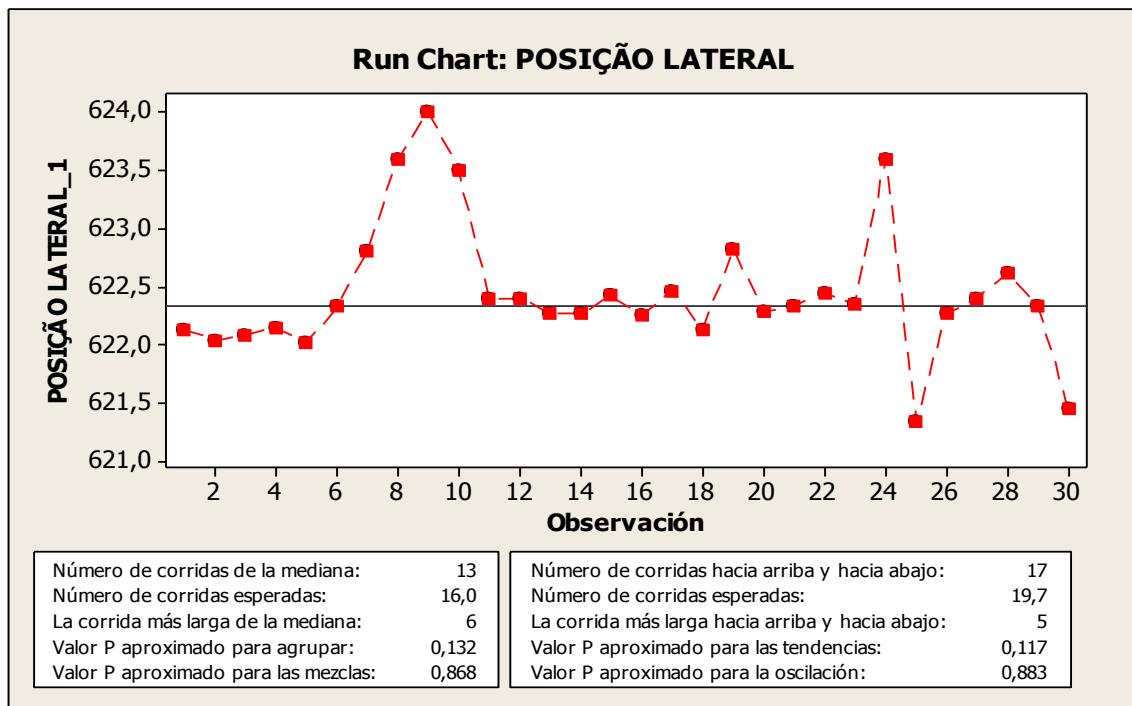
1. Verifica se o ponto está localizado acima do LSC ou abaixo do LIC, ou seja, são verificados os pontos que estejam acima de três desvios-padrão da LC;
2. Analisa a existência de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo da LC (tanto inferior, quanto superior);

3. Testa se há presença de seis ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes;
4. Verifica a existência de quatorze pontos alternados em uma linha, que se alternem para baixo e para cima continuamente;
5. Dois de três pontos localizados no mesmo lado a dois desvios-padrão acima ou abaixo da LC;
6. Testa a existência de quatro a cinco pontos localizados no mesmo lado a um desvio-padrão acima ou abaixo da LC;
7. Quinze pontos consecutivos localizados, em qualquer lateral, a menos de um desvio-padrão da LC;
8. Verifica se existem oito pontos sucessivos acima ou abaixo, em qualquer lateral, a mais de um desvio-padrão da LC.

A partir destes testes, são gerados no *Software MINITAB®* os gráficos a seguir, e demonstram respectivamente os resultados do *Run Chart* da média (\bar{X}) e da amplitude (R) referentes a cada posição do forno. O software identifica com os números de 1 a 8 os pontos que estão fora da curva. Para este estudo, foram realizados todos os testes descritos acima.

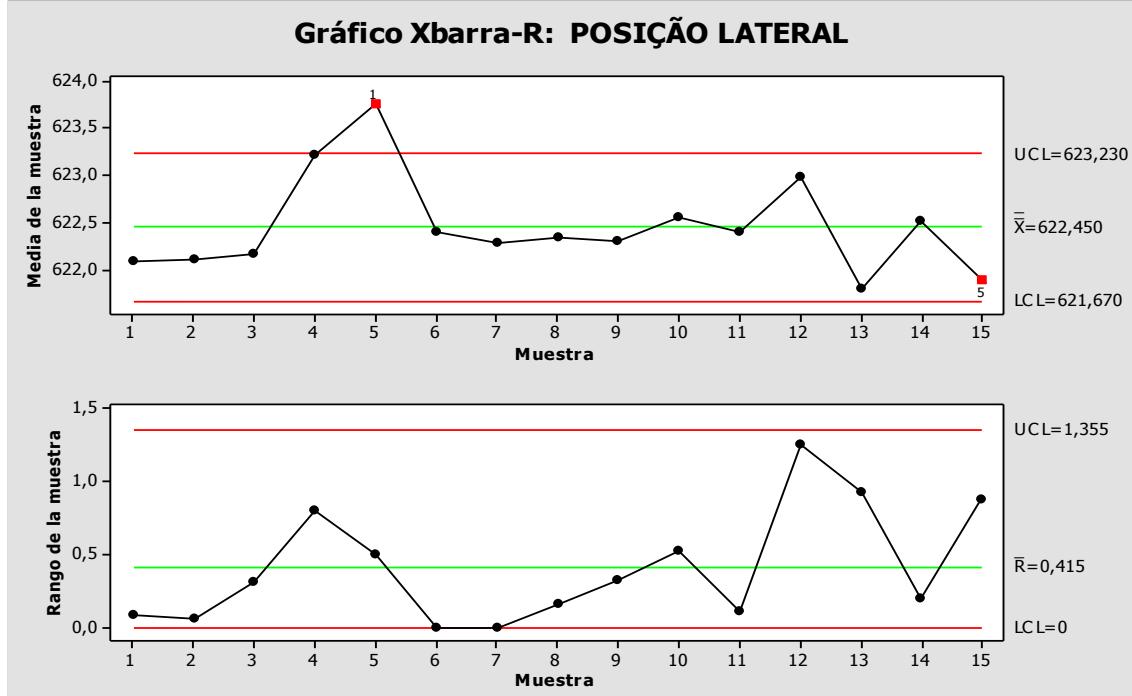
O *Run Chart* da Posição lateral denota uma ampla variação das amostras 25 a 30 causando o aumento da amplitude, sendo perceptível a diminuição do tamanho das peças devido a um util aumento de temperatura, podendo ser motivada por alguma causa especial originada possivelmente por falhas operacionais, vazios de forno causado por paradas de linhas ou equipamento desregulado. Contudo torna-se notório uma regularidade da amostra 05 a 18, apresentando leves variações.

Gráfico 9 - Run Chart da Posição Lateral



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Gráfico 10 - Carta de Controle (\bar{X} – R) da Posição Lateral



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

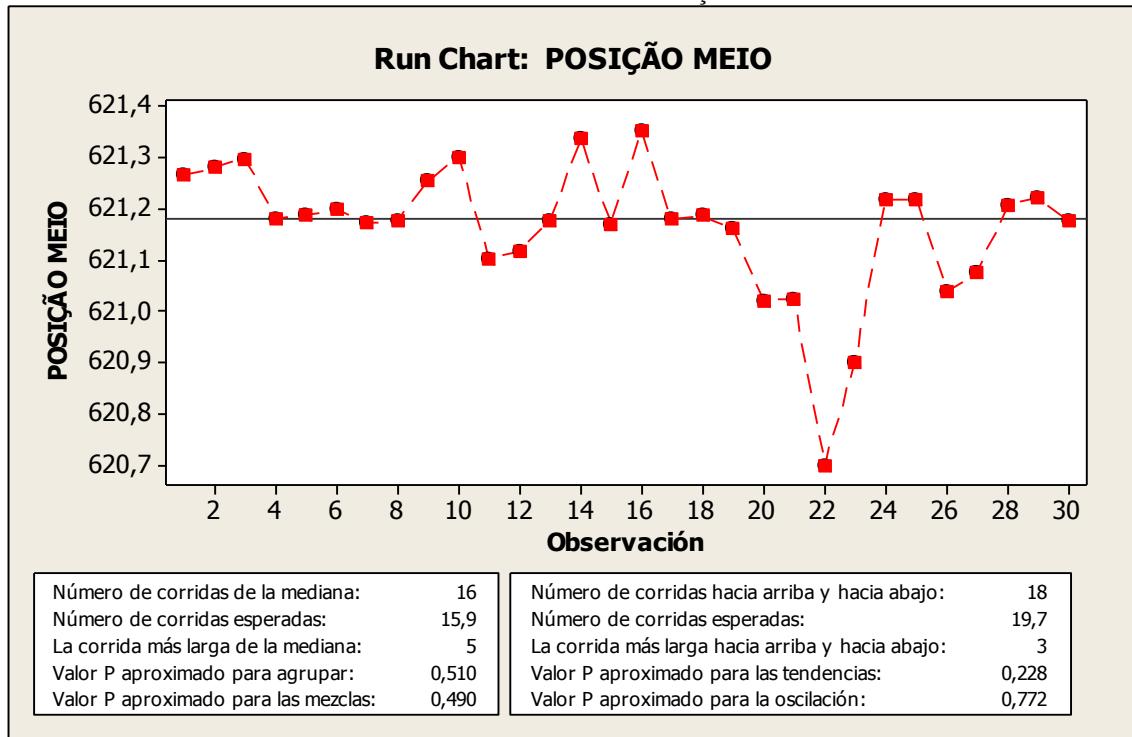
Para a posição lateral, o gráfico mostra que todos os pontos estão dentro dos limites de amplitude e que 70% dos dados estão abaixo da média da amplitude e 20% acima da média da amplitude. Houve uma brusca oscilação na amplitude dos pontos 12 a 15, sinalizando em especial o ponto 12 que se encontra fora dos limites de controle e os demais valores estão bastante próximos as tolerâncias.

Na carta de controle da posição Lateral, observa-se que para a posição lateral existem poucos pontos que estão localizados no limite central. No gráfico da amplitude através do teste II, percebe-se que há a presença de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo do LC.

Através da análise, percebe-se que a Posição Lateral, apesar de possuir médias e a maioria das amplitudes dentro dos limites de aceitação, apresenta oscilações bruscas entre valores próximos ao LCS e LCI, portanto, nota-se que há bastante variação no processo de queima para esta posição de modo a exigir cuidados relacionados a regulagens e operações.

No caso da Posição Meio, o *Run Chart* é representado pelo Gráfico 11. Nele é possível observar que há bastante variação da amplitude, onde 13 pontos estão acima do limite central, é possível notar que ocorrem oscilações em pontos específicos e que uma significativa quantidade de pontos não se aproxima do LC.

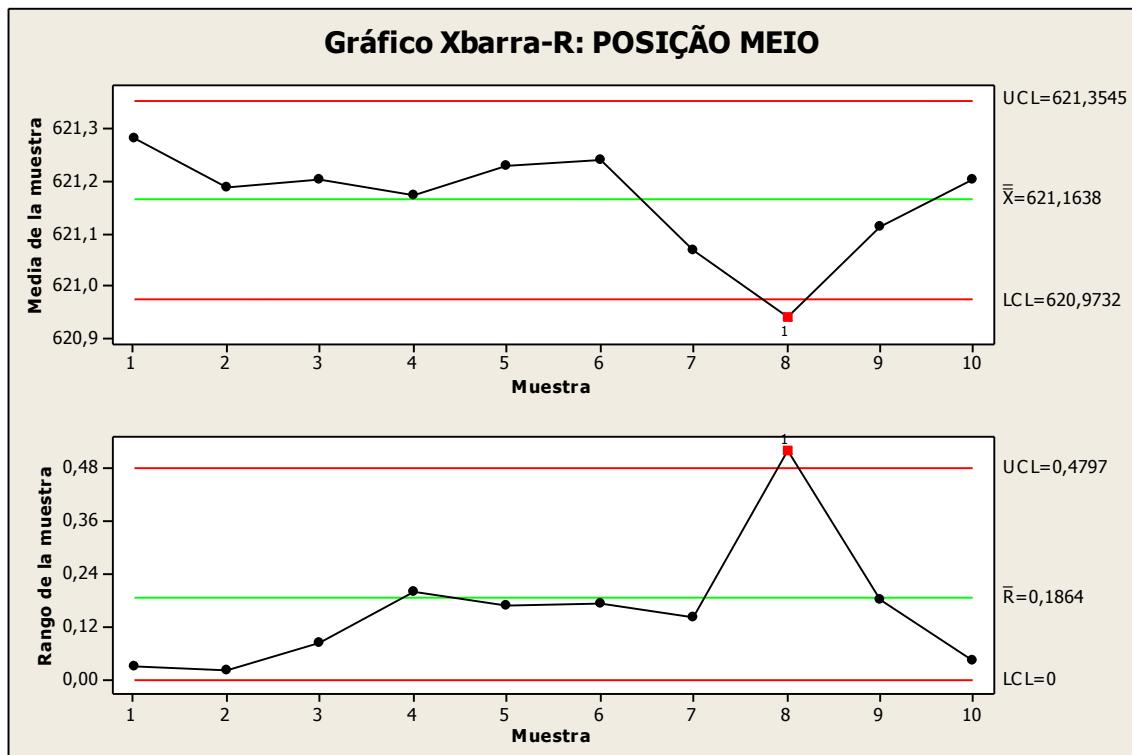
Gráfico 11 - *Run Chart* da Posição Meio



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

O gráfico a seguir, ilustra o comportamento do processo no gráfico de controle média-amplitude para a Posição Meio.

Gráfico 12 - Carta de Controle ($\bar{X} - R$) da Posição Meio

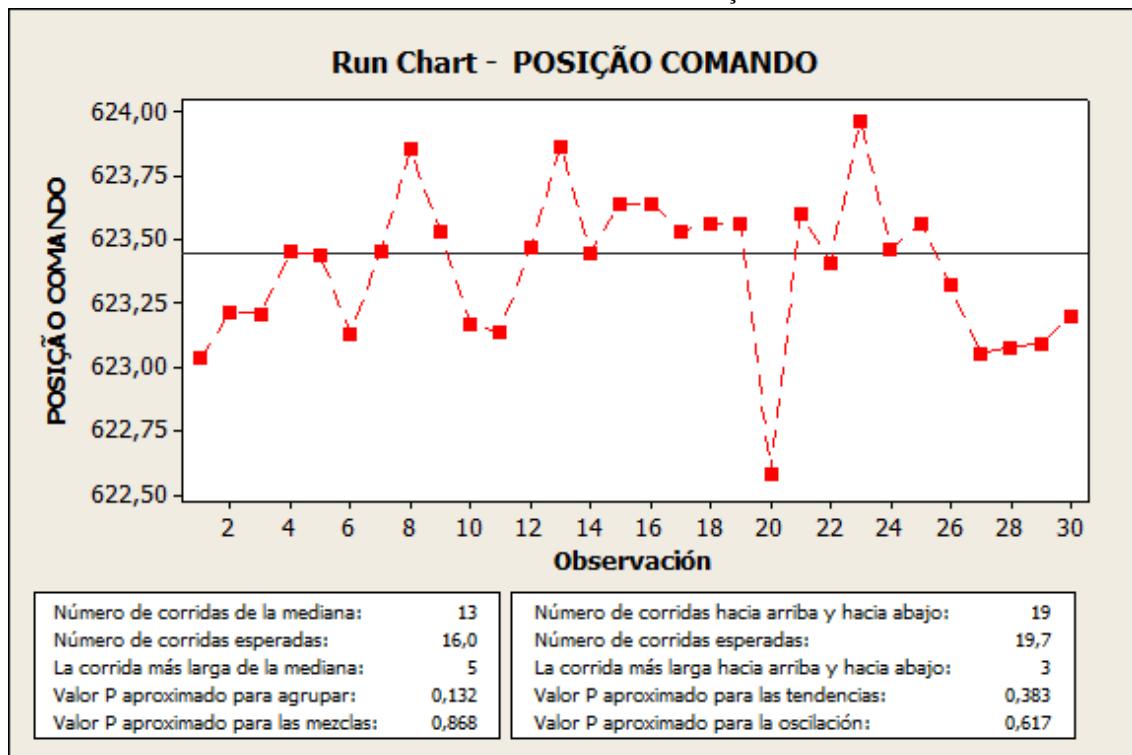


Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

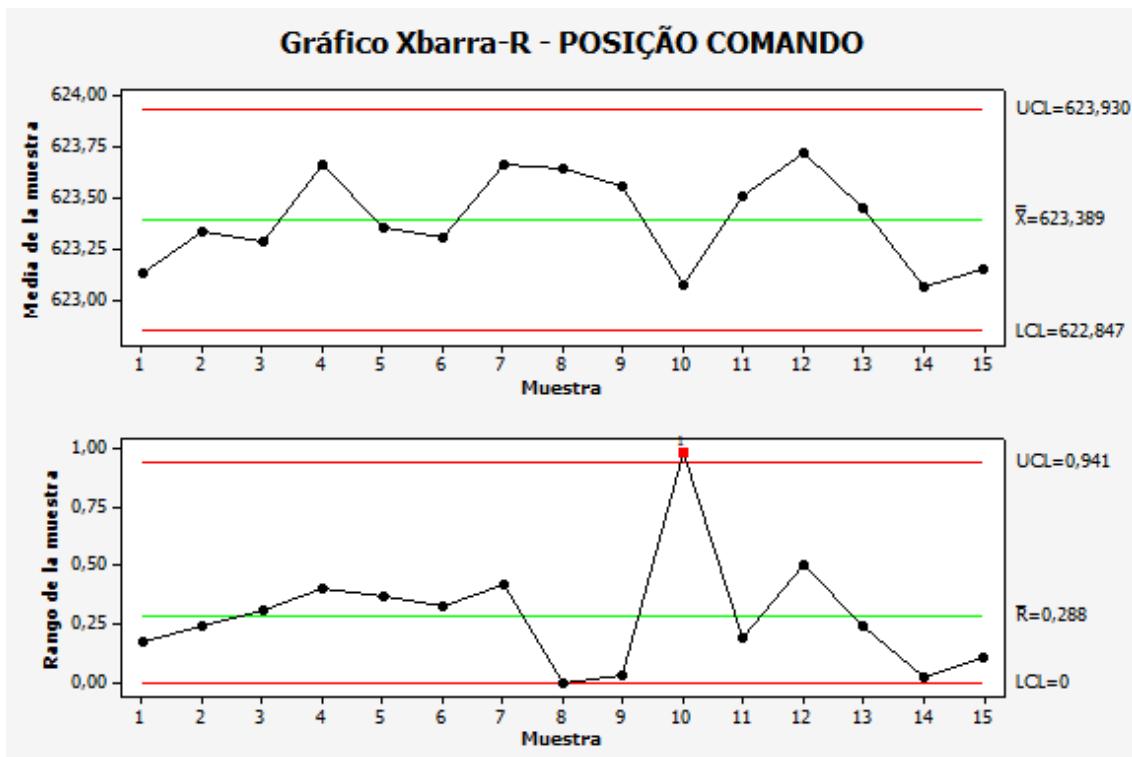
Percebe-se que para esta posição, torna-se visível que eles estão mais centralizados quando comparamos com a posição Lateral, entretanto, o valor da média amostral é bastante inferior quando comparadas a outras posições, indicando que o processo deve ter acompanhamento constante para evitar que as dimensões sintetizadas nesta posição ultrapassem os limites de controle estabelecidos.

Analizando o gráfico de amplitude, pode-se perceber alterações no processo, provavelmente originados por regulagens e operações.

Para a Posição Comando o gráfico *Run Chart* apresenta uma variação brusca no ponto 20, podendo ser causado por alguma falha no processo ou erro de medição, causas operacionais ou falhas no equipamento.

Gráfico 13 - *Run Chart* da Posição Comando

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Gráfico 14 - Carta de Controle (\bar{X} – R) da Posição Comando

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Para a posição Comando, a partir da análise dos gráficos de controle, que a média obtida é superior tanto a posição Lateral, quanto a posição Meio, indicando também que o processo seja mantido em constante acompanhamento, com intuito de evitar que os valores desta posição ultrapassem o LSE.

De acordo com Vieira (1999), quando temos um processo sob controle da amplitude, mas não da média, há indícios que o mesmo foi afetado por alguma causa especial. No gráfico da amplitude da posição comando, a partir da aplicação do teste ocorre a existência de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo da LC (tanto inferior, quanto superior), deste modo percebe-se que houve uma variação repentina de amplitude.

Os gráficos de controle auxiliam na visualização da alta instabilidade dos resultados dos controles. Para os gráficos sequenciais de todas as posições do forno, pode-se observar, ainda, que existem pontos distantes e isolados dos demais e oscilações bruscas tanto em médias quanto em amplitude. Tal situação pode ter sido provocada pela ocorrência de erros nos cálculos, nas medições ou no registro dos dados; instrumentos de medição descalibrados; falhas na operação; descontrole temporário dos parâmetros do processo ou defeito repentina ou contínuo no forno com ausência de correções imediatas.

4.4.5 Análise da capacidade de processo

Para complementar os gráficos descritos anteriormente, foi realizado o estudo de capacidade do processo. Kotz e Lovelace (1998) corroboram que é fundamental ressaltar que o valor alvo precisa coincidir com o valor médio entre os limites superior e inferior de especificação; caso não coincida, existem desvantagens na utilização do Cpm . Também é importante salientar que o cálculo do índice Cp não considera a média do processo e, por isso, avalia que o processo está centrado no valor nominal da especificação.

Segundo Vieira (1999), pode-se interpretar os resultados que serão obtidos, a partir das considerações descritas no quadro a seguir. Para este estudo, considerou-se que somente a análise do índice Cpk é válida, visto que, de acordo com os dados analisados anteriormente, as médias dos processos não estão centradas no alvo e este não corresponde à média dos limites especificados

Quadro 11 - Análise do Índice Cpk

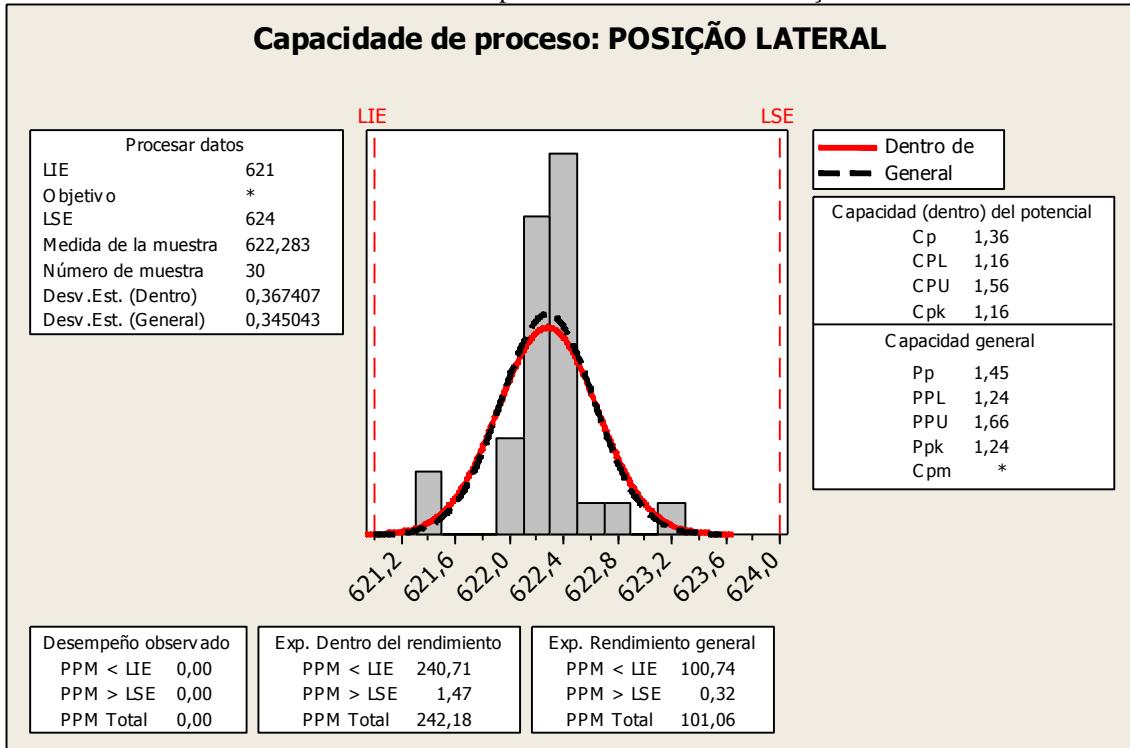
Cpk	Interpretação	Observação	Relação do valor nominal e a linha central do processo
$Cpk \geq 2,0$	Processo excelente	Existe um perfeito controle do processo	Se $Cp = Cpk$: Processo centrado Se $Cpk \neq Cp$: Processo está fora de alvo
$1,33 \leq Cpk \leq 2,0$	Processo capaz	É necessário monitoramento para evitar deterioração	
$1,00 \leq Cpk \leq 1,3$	Processo relativamente incapaz	Exige controle contínuo	$Cpk < Cp$ Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de especificação
$0 < Cpk < 1$	Processo incapaz	Exige controle total da produção	$Cpk < Cp$ A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos limites de especificação (podemos ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites de especificação)
$Cpk < 0$	Processo totalmente incapaz		$Cpk < Cp$ A linha central do processo está fora dos limites da Especificação Se $Cpk <-1$ à toda a produção está fora dos limites de especificação

Fonte: Adaptado de Vieira (1999)

Para Werner e Gonçalez (2009), por não levar em consideração a localização do processo e por apenas considerar a amplitude entre os limites de especificação e a variabilidade natural do processo em seu cálculo, para determinado valor de Cp , torna-se possível obter qualquer percentual de itens extrapolando as especificações, sendo que tal percentual dependerá de onde está localizada a média do processo. Caso o processo não esteja centrado no valor alvo, o uso do índice Cp pode levar a conclusões equivocadas.

Foram gerados os gráficos para as posições de queima analisadas no *Software MINITAB®*. Ao gerar a análise de capacidade de processo, o software gera um histograma acrescido de duas curvas normais. A curva pontilhada é gerada a partir da média do processo e no desvio padrão global, enquanto a curva contínua é gerada a partir das médias do processo e dos desvios do subgrupo. O parâmetro LIE corresponde ao limite inferior de especificação e o LSE corresponde ao limite superior de especificação

O Gráfico 15 mostra a análise de capacidade para a posição lateral, bem como os índices de capacidades que foram obtidos para este equipamento.

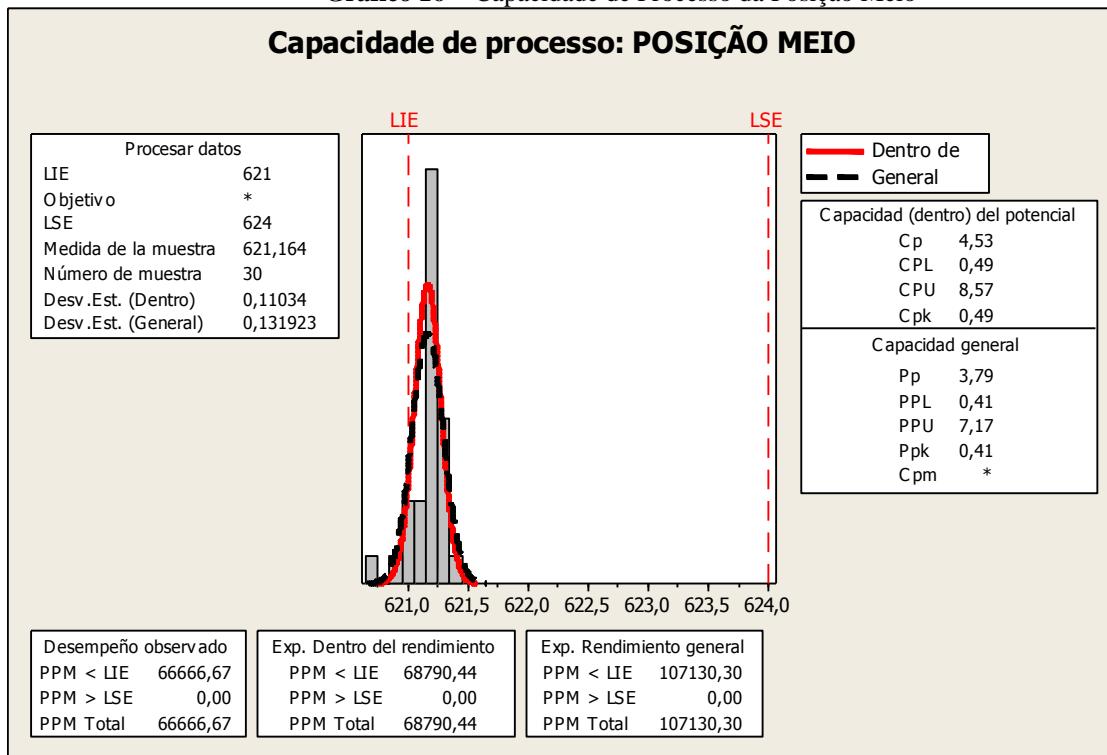
Gráfico 15 - Capacidade de Processo da Posição Lateral

Fonte: Elaborado pelo autor

Também foram calculados o valor partes por milhão (ppm), sob três aspectos distintos: de acordo com os valores das amostras (Desempenho observado), com base na curva contínua (Desempenho do rendimento) e com base na curva pontilhada (Rendimento geral). O valor de partes por milhão alude à quantidade de produtos fabricados fora dos limites de especificação a cada milhão de partes produzidas.

Para a posição lateral não foram identificadas não conformidades nas dimensões das peças avaliadas.

O Gráfico 16 apresenta a capacidade de processo para a posição meio, é possível observar que os resultados estão concentrados bastante próximos aos limites inferiores de especificação e este processo tem um ppm observado na amostra de 66.666,7, isto é 6,67 % da amostra está fora dos limites de especificação.

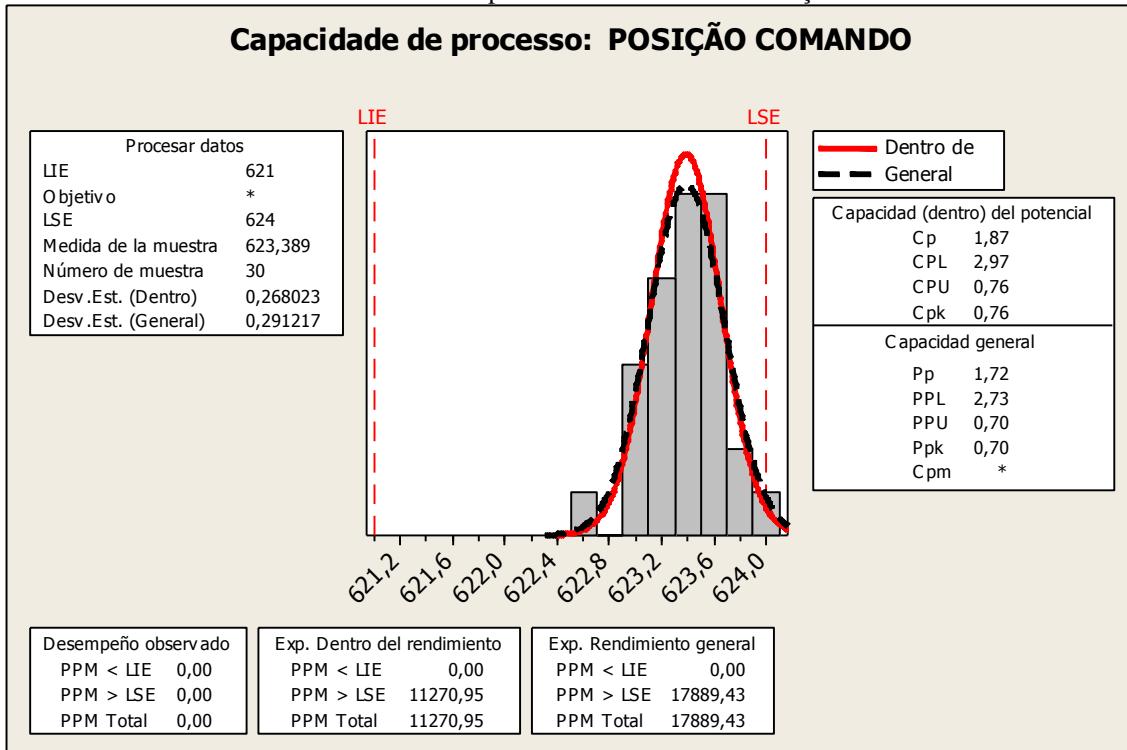
Gráfico 16 - Capacidade de Processo da Posição Meio

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando é realizada a correlação dos dados do Gráfico 16 com o produto propriamente dito, observa-se que as peças produzidas nesta posição de queima, é menor que as demais, tornando-a levemente mais acinzentada. Caso este fator não esteja controlado, a variação de tonalidade torna-se perceptível a olho nu, visto que em considerações realizadas pela área de controle de qualidade, variações superiores a 4 mm têm reflexos no quesito de tonalidade.

Para a posição comando foi gerado o gráfico a seguir, que apresenta valores mais aproximados ao limite superior de especificação, no entanto, apesar de estar descentralizada, não apresenta valores fora do limite de especificação.

Gráfico 17 - Capacidade de Processo da Posição Comando



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de terem sido realizadas análises distintas de cada posição, é importante ressaltar que todos os produtos, independentemente do lote de fabricação, possuem peças que foram queimadas simultaneamente nas três posições de sinterização. Esta análise torna-se importante pois traz a percepção do quanto a Lateral, o Meio e o Comando possuem comportamentos distintos e que cada uma delas devem ser monitoradas constantemente, visto que as posições Meio e Comando apresentam índice *Cpk*, inferior a 1,0, ou seja, o processo é considerado incapaz, exigindo controle total por parte da produção.

4.5 CAUSAS DE VARIABILIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO E PROPOSTA DE MELHORIA DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO

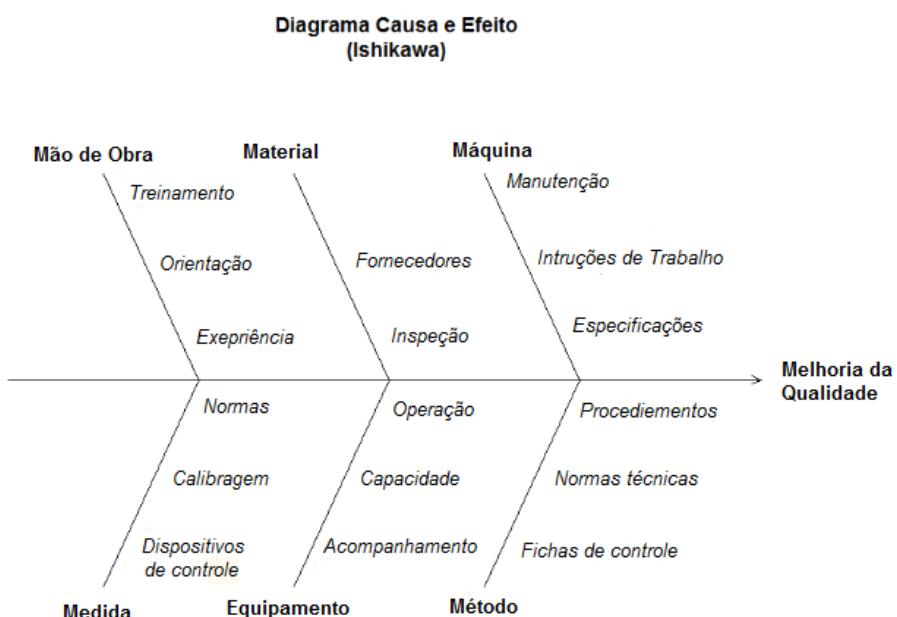
As variabilidades que ocorrem no processo de fabricação cerâmica podem ser causadas principalmente por agentes técnicos. Nesta seção serão levantados alguns

motivos que podem causar influências na variável analisada que foi item fundamental para este estudo.

As causas levantadas possuem óticas técnicas quando se diz respeito a fabricação cerâmica, por se tratar um assunto bastante específico, serão analisados os pontos que podem alterar as dimensões das peças do porcelanato durante o processo de queima, bem como soluções para mitigar tais causas.

Através de entrevista semiestruturada, o sistema de gestão de qualidade verificou junto aos gestores e operadores quais eram a principais causas de defeitos. Através do diagrama causa-efeito foram definidos os principais fatores causadores dos problemas.

Figura 34 - Diagrama causa-efeito



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Os seguintes aspectos foram identificados como os principais pontos possíveis geradores de gargalo: Mão de obra, material, máquina, medidas, equipamentos e métodos.

Para a não conformidade de diferença de tonalidade (defeito que possui o maior índice de reclamações) chegou-se à conclusão que os fornos deveriam passar por alguns ajustes técnicos e substituição de alguns equipamentos, a fim de uniformizar as curvas de queima, reduzindo assim possíveis variações.

O equipamento de estudo foi o forno, que é um dos fatores determinantes das dimensões do porcelanato. Este, requer ajustes periódicos que podem afetar as dimensões especificadas. É importante avaliar com testes oportunos que o fenômeno de variação de tamanho não derive de outras variáveis de fabricação que são independentes do forno.

As paradas inesperadas da produção por quebra de equipamento geram vazios ou espaços no forno, influenciando tanto no empeno, quanto nas dimensões das peças. O aparecimento deste fenômeno é, na maioria das vezes, associado a uma disformidade de retração, inclusive na seção de carga do forno. Para evitar que o produto receba classificação equivocada, as primeiras peças cerâmicas subsequentes a vazios de forno devem ser classificadas como tipo C, e assim que a queima estiver normalizada, a classificação como tipo A deverá fluir normalmente.

Os ajustes do forno são determinantes para o tamanho das peças. Por se tratar de um equipamento bastante sensível e antigo, ajustes periódicos necessitam ser realizados pelos operadores de forno. Sempre que tais ajustes são realizados, supõe-se alteração das dimensões do produto ou entre a zona de queima e resfriamento rápido, também devem ser analisados dois itens fundamentais que influenciam o aspecto citado, que são aspiração e volume de gases envolvidos. Deste modo, os procedimentos e especificações acerca de ajustes deverão ser cumpridos rigorosamente e registrados nas fichas de controle de processo.

É importante salientar que a temperatura do forno é quem determina o tamanho das peças, e para alguns tipos de esmaltes que são aplicadas sobre as peças, necessitam-se de temperaturas mais elevadas ou não, deste modo, cada tipo de produto, é queimado sob condições específicas. É de fundamental importância realizar o acompanhamento das temperaturas da zona de pré-aquecimento e queima e para cada produto deverão ser elaboradas especificações de trabalho distintas.

É indispensável, um controle e acompanhamento da instalação de combustão, com o objetivo de homogeneizar as condições de trabalho entre as rampas dos queimadores no campo da temperatura até o fim da zona de queima, pois influenciam diretamente na retração do material. Existirá uma condição de homogeneidade, quando por uma regulagem com o valor semelhante de pressão de gás que sejam bastante semelhantes entre singulares grupos de queimadores.

Avaliar a parte final da zona de queima torna-se imprescindível, pois esta área é próxima do resfriamento rápido, onde volumes frios de ar insuflados na zona de resfriamento podem influenciar de forma significativa na temperatura, deste modo, obriga os queimadores a trabalharem com pressão de gás e ar levemente diferente, dependendo da quantidade de volume de ar insuflados.

Outro motivo importante a ser levantado tem relação com os equipamentos utilizados para medição: os paquímetros utilizados na averiguação podem não estar aferidos e, dessa forma, gerar resultados errados, levando a acreditar que o processo está incorreto. É fundamental manter um plano de calibração para todos os instrumentos utilizados para medição.

Em suma, é fundamental a manutenção e calibragem dos equipamentos de medida; deve-se manter o acompanhamento constante de fichas de controle, bem como a exposição de procedimentos e especificações de produto e de processo; outro fator importante é o treinamento da mão de obra e finalmente a elaboração de um plano de manutenção periódica preventiva nos fornos, visto que atualmente as manutenções existentes, na maioria das vezes, são apenas de cunho corretivo.

Todas as situações descritas ao longo desta seção são consideradas cruciais para as variabilidades existentes no processo, podendo ou não interferir nas dimensões das peças de porcelanato e consequentemente no defeito de variação de tonalidade.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste estudo proporcionou uma análise de como a variação das dimensões das peças na saída do forno em uma linha de produção de porcelanato pode ser monitorada a partir da utilização das ferramentas do controle estatístico de processo. Este estudo também possibilitou compreender e analisar graficamente os efeitos que alteração das dimensões de cada peça pode influenciar no defeito de variação de tonalidade.

A metodologia deste estudo de caso, suportada por pesquisa de campo, é de caráter descritiva-exploratória, usando abordagem qualitativa e quantitativa, mostrou-se válida para análise do processo estudado.

A utilização das ferramentas da qualidade, sobretudo do CEP, permitiu a elaboração de gráficos de controle (X e R), facilitando o monitoramento da qualidade do processo e dos produtos, tanto servindo de *input* à tomada de decisão quanto de *feedback* do processo, no caso, de sinterização, podendo ser facilmente replicado em outras áreas do processo produtivo.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo, avaliou-se que há uma enorme chance de haver melhoria no controle de processo existente no setor de fornos, que irão acarretar ganhos na qualidade dos produtos e reduções perdas e desperdícios causados pelo equipamento. Conclui-se que o uso da metodologia de análise fundamentada nas ferramentas do CEP permite um maior gerenciamento e domínio sobre os processos de fabricação cerâmica e que uma ferramenta de análise é de fundamental importância para extrair melhores resultados da análise realizada.

De um modo geral, cada posição do forno (Comando, Meio e Lateral) demonstram comportamentos distintos. Por se tratar de um equipamento antigo, e por apresentar uma série de falhas decorrentes do tempo de vida do equipamento e a necessidade de um melhor treinamento para a mão de obra, podem originar uma série de variações de tamanho e consequentemente causar o defeito de variação de tonalidade, que é a patologia que mais causa reclamações por parte dos clientes.

Mediante este estudo, será possível também estabelecer padrões de trabalho para cada posição do forno de modo a compreender se a sinterização resultará peças que serão capazes de atender a exigências de qualidade do processo. Deste modo, a utilização do controle estatístico, nos principais parâmetros deste equipamento, refletirá na sua estabilização, conferindo maior confiabilidade no processo de sinterização do material cerâmico.

Dada a importância do tema, foi verificado que é necessário o desenvolvimento de um projeto que avalie as condições de sinterização e outros fatores que influenciam nas dimensões das peças em setores distintos da fábrica.

5.2 ALCANCE DOS OBJETIVOS

O quadro a seguir retrata todos os objetivos específicos que foram estabelecidos, o resumo dos resultados alcançado, bem como o local em que se encontra no trabalho.

Quadro 12 - Alcance dos objetivos

Objetivos específicos	Resultados alcançados
Conhecer o fluxo de processo de fabricação	Ao longo do trabalho foi possível compreender as características técnicas do processo de fabricação cerâmica e/ou de porcelanato. No fluxo de processo, há diversos fatores que influenciam a qualidade e a produtividade do processo de fabricação cerâmica e/ou de porcelanato. Fatores como dimensões, tonalidade, etc são diretamente influenciados pelo processo de sinterização. Peço que revise o texto e deixe algo parecido com isso, avisando aos leitores as principais características que descobriu como fatores que pode ter variabilidade no produto decorrente do processo.
Levantar os principais indicadores de qualidade do processo produtivo e as ocorrências de reclamações dos clientes associando aos setores diretamente relacionados ao problema técnico	Verificou-se que a partir dos índices de reclamação que o defeito variação de tonalidade foi o mais reclamado no ano de 2016. Deste modo foi escolhido a área de intervenção da pesquisa
Aplicar as ferramentas do CEP no processo selecionado	Usando o Software Minitab® versão 15, pode verificar a aplicabilidade do CEP no estudo caso, onde se constatou as possíveis causas de variabilidade no processo e no produto.
Analizar os resultados obtidos após aplicação do CEP	Os principais resultados obtidos após aplicação do CEP foram: mostre que além do diagnóstico, a aplicação trouxe ganhos para confiabilidade, maturidade e gestão do processo, inclusive com a elaboração de plano de melhoria

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

O principal objetivo deste trabalho é analisar a contribuição do Controle Estatístico de Processo no monitoramento da variabilidade do processo de fabricação do porcelanato em uma Indústria de Cerâmica e Porcelanato. Diante do exposto, torna-se evidente que foi alcançado.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA A EMPRESA

Recomenda-se que a empresa, através de ações de cunho gerencial incisivas, reduza os custos provenientes da não qualidade, acarretando no aumento da qualidade dos produtos fabricados, na queda do índice de reclamações, criando nos seus colaboradores o desejo de participar e contribuir para a melhoria contínua do processo produtivo. Assim, mediante a treinamentos, avaliações de aprendizagem e auditorias internas, os colaboradores fiquem aptos a desempenhar um papel importante dentro da organização.

É importante salientar que o CEP é aplicável para qualquer setor da fábrica. Caso haja monitoramento das principais variáveis nos setores-chaves do processo produtivo, como por exemplo nos processos preparação de massa, prensa, esmaltação e embalagem que além do forno, são fatores decisivos no aparecimento de defeitos e perdas no processo, há uma grande possibilidade de minimizá-los, consequentemente acarretará na redução dos índices de reclamação, reduzirá também os custos da não qualidade, bem como aumentará o nível de satisfação dos clientes.

5.4 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

O Gráfico 6, que traz a relação dos principais setores geradores de problemas técnicos, aponta que os setores de esmaltação, embalagem e prensa apresentam índices críticos de defeitos relacionados.

Para o setor de esmaltação são sugeridas pesquisas relacionadas a densidade, viscosidade e peso da camada do esmalte, bem como análises mais profundas acerca das matérias primas utilizadas que podem acarretar na variabilidade.

Para o setor de embalagem são sugeridas pesquisas relacionadas a calibragem e operação das máquinas *Surface Flawmaster 5G* (realiza a verificação visual do produto), Câlibre (realiza a verificação dimensional do produto) e Planar (realiza a

verificação de empeno do produto) caso estas máquinas apresentem má regulagem podem acarretar em classificações equivocadas, deste modo torna-se necessário um estudo acerca das condições de trabalho destes equipamentos bem como das operações.

Para o setor de prensas, recomenda-se um estudo sobre as variabilidades do processo em relação ao carregamento (quantidade e distribuição de massa atomizada aplicada no molde de compactação), espessura e densidade aparente do material; desta maneira poderão ser analisadas o comportamento dessas variáveis do processo, bem como a implantação de um projeto de melhorias visando reduzir ou eliminar as causas de variabilidade do processo. Recomenda-se também uma análise do tempo de troca de ferramental da presa, pois é um fator determinante na qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

ANFACER. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/brasil>> Acesso em: 10 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. **Placas Cerâmicas Para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaios**. Rio de Janeiro, abr. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15463. **Placas Cerâmicas Para Revestimento - Porcelanato**. Rio de Janeiro, set. 2013.

CAMPOS, F. A. L. **Uma investigação sobre a solução de problemas a partir da experiência sobre do CCQ : análise da teoria e da prática**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. 2004.

CAMPOS, V. F. **Controle de qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1992.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade ISO 9001:2015: requisitos e integração com a ISO 14001:2015** / Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti; Mateus Cecílio Gerolamo. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CERÂMICA ELIZABETH. Disponível em: <<http://www.ceramicaelizabeth.com.br/grupo-elizabeth-a-melhor-fabrica-de-ceramica>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: atlas, 2007.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334p.

COTEC. **Pautas Metodológicas en Gestión de la tecnología y de la Innovación para Empresas**. Madrid: Innovation, 1999. 135; 141 p.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro, José Olympio, 1994. Editora Gente, 245 p. 1993.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da qualidade total: gestão e sistemas**. v. 1. São Paulo: Makron Books, 1994.

GALUCH, L. **Modelo para Implementação das Ferramentas Básicas do Controle Estatístico de Processo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp?acao=imprimir>>. Acesso em: 10 set. 2017

KENNELEY, M.; NEELY, A.; ADAMS, C. **Survival of the fittest: measuring performance in a changing business environment.** Measuring Business Excellence. v.7, n.4, p.37-43, 2003.

KOTZ, S.; LOVELACE, C. R. **Process Capability Indices in Theory and Practice.** London: Arnold, 1998.

KUME, H. Métodos estatísticos para a melhoria da qualidade. **São Paulo: 1993.** Lakatos, Eva Maria, Marconi, Marina Andrade. Metodologia científica, 6^a edição. **Atlas, 09/2011**

LOUZADA, Francisco, DINIZ, Carlos A.R., FERREIRA, Paulo H., FERREIRA, Edil L. **Controle Estatístico de Processos - Uma Abordagem Prática para Cursos de Engenharia e Administração.** LTC, 05/2013.

MACHADO, J. F. **Método Estatístico: Gestão de qualidade para melhoria contínua** / José Fernando Machado. São Paulo: Saraiva, 2010.

MATTOS, J. C. **Custos da qualidade como ferramenta de gestão da qualidade:** conceituação, proposta de implantação e diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000. Dissertação de Mestrado. - DEP/UFSCar. São Carlos, 1997.

MATTOS, J. C., TOLEDO, J. C. Custos da qualidade: diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 5, n. 3., 1998.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control.** 3rd ed. New York: JW, 1997.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control.** 6^a. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade,** 7^a edição. LTC, 06/2016.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações.** 4. ed. São Paulo: cengage learning, 2008. 624 p.

MORETTIN, P.L.; BUSSAB, W.O. **Estatística básica.** SÃO PAULO: SARAIVA, 2003. 526P.

NEELY, A.; GREGORY, M. PLATTS, K. **Performance measurement system design - A literature review and research agenda.** International Journal of Operations & Production Management. v. 15, n. 4, p.80-116, 1995.

NOVASKI, O. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica.** 1º reimpressão. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1998.

OLIVEIRA, J. R. **Estudo sobre as limitações dos sistemas de medição da produtividade numa unidade industrial do setor cervejeiro.** 31/03/2005. 281f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2005.

OLIVEIRA, Maria Cecília [e] MAGANHA, Martha Faria Bernils. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos / - -** São Paulo: CETESB, 2006. 90p. (1 CD): il.; 21 cm. - - (Série P + L)

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática** / Edson Pacheco Paladini. – 3. ed. – São Paulo: Atlas, 2012.

REBELATO, Marcelo Giroto; SOUZA, Gerson Aldo de; RODRIGUES, Andréia Marize. **Estudo sobre a aplicação de gráficos de controle em processos de saturação de papel.** XIII SIMPEP, Bauru, SP, p.1-10, 6 nov. 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/820.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2017.

RAMOS, Edson M. S., ALMEIDA, Silvia dos de, ARAÚJO, Adrilayne Reis. **Controle Estatístico da Qualidade.** Bookman, 01/2013.

ROBLES JÚNIOR, A. **Custos da qualidade: aspectos econômicos da gestão da qualidade e da gestão ambiental** / Antônio Robles Jr. – 2. Ed. – 3. Reimpr. – São Paulo: Atlas, 2009.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

VERGARA, S. C. **Métodos de coleta de dados no campo**, 2ª edição. Atlas, 03/2012.

VIEIRA, S. **Estatística para qualidade:** como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. 15ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

WERNER, L.; GONÇALEZ, P. U. **Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais.** Revista Gest. Prod., São Carlos, v.16, n. 1, p. 121-132, jan-mar. 2009.

WERKEMA, M. C. C. **Avaliação de Sistemas de Medição.** Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

Apêndice A – Relatório de Observação Participante

Tema	Aspectos observados
Fluxo de processos	Processo de fabricação cerâmica Sequência de desenvolvimento de operações
Falhas no processo	Avaliação do índice de reclamações Avaliação técnica do produto Possibilidade de haver falha no processo Causas de falhas no processo Proposta de melhoria no processo para mitigar falhas

Apêndice B – Entrevista de avaliação de falhas de processo e de produto**ENTREVISTA DE AVALIAÇÃO DE PROCESSO E DE PRODUTO**

Prezado colaborador,

Estou realizando uma pesquisa para avaliar os principais tipos de reclamações com intuito de aplicar ferramentas do Controle Estatístico de Processo. Conto com a sua gentileza para responder com comprometimento e veracidade nas informações.

As informações coletadas serão tratadas com total sigilo e serão utilizadas para melhoria e controle de processo.

Desde já agradeço sua atenção e colaboração.

1. Na sua opinião, qual o produto que apresenta mais problemas de produção?
2. Qual o principal defeito recorrente dos produtos?
3. Qual a causa do defeito?
4. Este defeito pode ser associado a algum setor específico? Qual?
5. É possível melhorar os controles de processo?
6. Qual sua avaliação sobre treinamentos de operadores de produção?
7. Qual sua avaliação acerca do maquinário utilizado?
8. Qual sua sugestão para diminuir a incidência deste tipo de defeito?

Apêndice C – Ficha de verificação dimensional

FICHA DE CONTROLE DIMENSIONAL - FORNO 04

Data:

FR 01 0068
REV. 01

TURNO 01

Lateral					
Hora	Lado 01	Lado 02	Lado 03	Lado 04	Média
06:00					
07:00					
08:00					
09:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					

TURNO 02

Lateral					
Hora	Lado 01	Lado 02	Lado 03	Lado 04	Média
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					
21:00					
22:00					
23:00					

TURNO 03

	Lateral				
Hora	Lado 01	Lado 02	Lado 03	Lado 04	Média
00:00					
01:00					
02:00					
03:00					
04:00					
05:00					
06:00					