

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS, ENGENHARIAS E
TECNOLOGIA – UNACET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS – PPGCEM**

LUCIANO SOARES

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOAGEM VIA ÚMIDA DE
MASSA PARA MONOPOROSA COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS
DE ESMALTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Gonçalves Dal Bó
Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin

**CRICIÚMA
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S676o Soares, Luciano.

Otimização do processo de moagem via úmida de massa para monoporosa com utilização de resíduos de esmaltação / Luciano Soares. - 2017.

127 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2017.

Orientação: Alexandre Gonçalves Dal Bó.

Coorientação: Adriano Michael Bernardin.

1. Moagem – Eficiência energética. 2. Moagem via úmida. 3. Massa monoporosa. 4. Revestimento cerâmico - Indústria. I. Título.

CDD 23. ed. 666.4

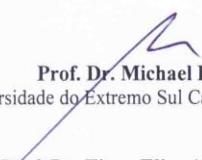
Luciano Soares

Otimização do processo de moagem via úmida de massa para monoporosa com utilização de resíduos de esmaltação.

Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

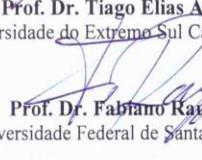
Criciúma, SC, 17 de fevereiro de 2017.

Banca Examinadora:



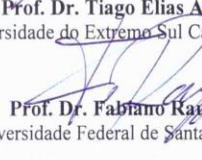
Prof. Dr. Michael Peterson

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Tiago Elias Allievi Frizon

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Fabiano Raupp Pereira

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pelo simples fato da vida, sem a qual simplesmente nada existiria. Nesses dois anos, obtive muito apoio de minha esposa e meus filhos, minha eterna gratidão. Pude conhecer professores, doutores, hoje amigos, que exercem o legado com muita propriedade e dedicação, professores do PPGCEM, foi uma honra conhecê-los e poder aprender um pouco mais com os senhores. Agradeço também ao administrador da empresa Cerâmica Artística Giseli Ltda, na pessoa do Dr. Rene José Pamato Alves, que nos apoiou significativamente nesse projeto, como também ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares – PROSUP, financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Meus sinceros agradecimentos ao apoio e dedicação de meus orientadores nas pessoas dos Drs. Alexandre Gonsalves Dal Bó e Adriano Michael Bernardin, os quais sempre estiveram presentes nesse projeto. Não poderia deixar de mencionar a importância de ter passado esse período com o corpo discente do PPGCEM(mestrandos 2015-2017), verdadeiro espírito de equipe!!!

RESUMO

Na indústria cerâmica o processo de moagem tem se apresentado imprescindível na sustentação a evolução de seus produtos. Em um cenário nacional onde cerca de 27% dos produtos cerâmicos produzidos, são através do processo de moagem via úmida e tendo em vista que sua força motriz é praticamente insubstituível; a otimização do consumo de energia elétrica é de suma importância e vital. O processo de moagem na indústria cerâmica tem como objetivo principal reduzir o tamanho das partículas, conseqüentemente aumentando a área de contato entre os materiais e entre si, bem como com o meio ao qual estão expostas. O presente trabalho estuda maximizar a eficiência energética, reduzindo o consumo de energia elétrica através de fatores como rotação, carregamento parcial ou total do moinho e o uso de efluentes de esmaltação como porção líquida do processo na moagem em via úmida de uma massa cerâmica de Monoporosa. Os efeitos do tempo de moagem sobre o resíduo da massa padrão também são estudados. Inicialmente, as matérias-primas que compõem a massa padrão foram caracterizadas pelas técnicas de FRX, DRX e distribuição de tamanho de partículas (difração a laser), sendo posteriormente analisado o comportamento reológico (curva de defloculação) após formulação da massa padrão. Foi utilizado um planejamento experimental fatorial $2^3 + 4$ pontos centrais para determinar os efeitos dos fatores em estudo na 4^a, 6^a, 8^a e 10^a hora de moagem. O efeito do uso de um inversor de frequência sobre o consumo energético na moagem também foi determinado. Como resultado, percebeu-se o efeito da rotação sobre o resíduo da massa padrão em todos os tempos de moagem. O uso de efluentes como meio líquido de moagem (densidade $\sim 1,05 \text{g/cm}^3$) não afeta as propriedades da barbotina em estudo. Foi comprovada a eficiência do uso de inversor de frequência para controle dos moinhos, com uma economia de energia elétrica de até 16%. Desta forma, é possível dar o destino adequado aos resíduos industriais, reduzindo os impactos ambientais com o uso dos resíduos de esmaltação e lavagem de gases como parte líquida do processo de moagem em substituição à água limpa de uma massa padrão de monoporosa.

Palavras Chave: ~~moagem~~ cerâmica. — Massa Monoporosa, Reaproveitamento de resíduos ou efluentes, eficiência energética.

ABSTRACT

In the ceramic industry and milling process has been essential in sustaining an evolution of its products. In a national scenario close to 27% of the ceramic products produced, it is through the process of wet milling and bearing in mind that its driving force is practically irreplaceable; The optimization of the consumption of electric energy is of paramount and vital importance. The grinding process in the ceramic industry has as main objective to reduce the size of the particles, consequently increasing an area of contact between materials and each other, as well as with the quality medium exposed. The present work studies the maximization of energy efficiency, reducing the consumption of electric energy through factors such as rotation, partial or total loading of mill and use of enamination effluents as liquid portion of process in wet milling of a ceramic mass of Monoporosa. The effects of grinding time on the residue of the mass are also studied. Initially, the raw materials that compose a physical pattern were characterized by FRX, XRD and particle size distribution (laser diffraction), and the correct behavior for the standard mass formulation was analyzed. A factorial experimental design $2^3 + 4$ central points was used to determine the effects of the factors under study in the 4th, 6th, 8th and 10th hour of milling. The effect of the use of a frequency inverter on energy consumption in grinding was also determined. As a result, the effect of rotation on the standard mass residue at all grinding times was noticed. The use of effluents as liquid grinding media (density = 1.05 g / cm^3) does not affect the properties of the slip under study. An evaluation of the use of frequency inverter for control of the mills was carried out, with an electric energy saving of up to 16%. In this way, it is possible to target industrial wastes by reducing environmental impacts with the use of enamelling residues and the washing of gases as a liquid part of the milling process instead of clean water of a standard mass of monoporous.

Keywords: ceramic grinding. Monoporous mass. Consumption of waste or effluents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processos de fabricação dos principais revestimentos cerâmicos	24
Figura 2 - Capacidade produtiva brasileira instalada (2014).....	25
Figura 3 - Processos de fabricação utilizados no Brasil	25
Figura 4 - Parâmetros de moagem secundária realizada em moinhos pendulares	31
Figura 5 - Imagem interna de moinho: a) Moinho de martelo. b) Moinho pendular	32
Figura 6 - Tipos mais comuns de revestimentos	33
Figura 7 - Ilustração do interior de um moinho de bolas para quatro diferentes valores da aceleração centrífuga (ac).....	37
Figura 8 - Definição de Áreas de moagem.....	38
Figura 9 - Movimento de carga dentro do moinho.....	38
Figura 10 - Parâmetros de carga de um moinho tipo alsing Ø2,4m	42
Figura 11 - Principais mecanismos de moagem em moinhos cilíndricos tipo Alsing	43
Figura 12 - Unidade básica do tetraedro de silício (SiO₄ –)	44
Figura 13 - Fluxograma das etapas do estudo	46
Figura 14 - Análise de energia RE 6000	49
Figura 15 - Modelo de curva de defloculação	52
Figura 17 - Análise mineralógica da massa de monoporosa STD.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Síntese das principais leis da cominuição	30
Gráfico 2 - Comparativo entre tamanho de partículas da massa STD e a formulação da massa	56
Gráfico 3 - Distribuição do tamanho de partículas comparativa entre suspensão de monoporosa STD e as matérias primas da composição	58
Gráfico 4 - Apresenta curva de defloculação em Copo Ford, conforme resultados da tabela 8	65
Gráfico 5 - Curva de defloculação em viscosímetro Brookfield	66
Gráfico 6 - Moagem com tempo determinado de 9 horas em moinho de 148 litros	67
Gráfico 7 - Pré-testes de moagem com diferentes rotações	68
Gráfico 8 - Gráfico dos Resíduos previstos x realizados na 4ª hora.....	74
Gráfico 9 - Diagrama de Pareto apresentado na 4ª de moagem em moinho de 148 litros.....	75
Gráfico 10 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 4ª hora de moinho em moinho de 148 litros	76
Gráfico 11 - Gráfico dos Resíduos previstos x realizados na 6ª hora.....	78
Gráfico 12 - Diagrama de Pareto apresentado na 6ª de moagem em moinho de 148 litros.....	79
Gráfico 13 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 6ª hora de moagem em moinho de 148 litros.....	80
Gráfico 14 - Diagrama de Pareto apresentado na 8ª de moagem em moinho de 148 litros.....	83
Gráfico 15 - Gráfico dos Resíduos previstos x realizados na 8ª hora.....	82
Gráfico 16 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 8ª hora de moagem em moinho de 148 litro	83
Gráfico 17 - Diagrama de Pareto apresentado na 10ª de moagem em moinho de 148 litros.....	87
Gráfico 18 - Gráfico dos Resíduos previstos x realizados na 10ª hora.....	86
Gráfico 19 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 10ª hora de moagem em moinho de 148 litros.....	88
Gráfico 20 - Resultados de moagens comparativos com o uso de água e/ou efluente em 19 RPM	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de distribuição usual (%) em função do volume útil do moinho.	36
Tabela 2 - Tabela de relação entre densidade da suspensão, conteúdo em sólido e densidade de sólidos	41
Tabela 3 - Planejamento experimental fatorial $2^k + 4$ mostrando os fatores (rpm, duplo carregamento, água/efluente), nos experimentos (1 a 12).	53
Tabela 4 - Planilha de acompanhamentos dos testes de moagem via úmida em moinho com volume útil de 148 litros.Fonte: Do Autor (2016).	55
Tabela 5 - Resumo dos tamanhos de partículas da massa em estudo anterior ao processo de moagem	56
Tabela 6 - Distribuição de tamanho das partículas da massa STD comparativo com a formulação (anterior ao processo de moagem) em intervalos de 25 μm	58
Tabela 7 - Análise química das matérias primas individuais	59
Tabela 8 - Propriedades dos minerais identificados na massa padrão.....	62
Tabela 9 - Primeiro teste do consumo de energia elétrica durante a moagem, com e sem inversor de frequência	63
Tabela 10 - Análise de viscosidade da massa STD, medidos em copo ford	64
Tabela 11 - Análise de viscosidade da massa STD, medidos em viscosímetro Brookfield.....	66
Tabela 12 - Reavaliação dos testes iniciais de rotação (RPM).....	69
Tabela 13 - Resultados de moagem comparativa entre diferentes rotações em moinho de 148 litros.....	70
Tabela 14 - Resultados de moagens obtidos em um planejamento experimental $2^{kk} + 4$ pontos centrais	71
Tabela 15 - Resultados de resíduos na 4ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.....	72
Tabela 16 - Resultados de resíduos na 6ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.....	77
Tabela 17 - Resultados de resíduos na 8ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.....	80
Tabela 18 - Resultados de resíduos na 10ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.....	85
Tabela 19 - Simulação do consumo de energia no processo de moagem em uma produção de 500.000 m^2 mês com e sem inversor.....	89
Tabela 20 - Resultados de calibragem de moinho em processo industrial – moinho 12.000 litros	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica
BET	Brunauer, Emmet e Teller, método de caracterização de adsorção e catálise.
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CPs	Ciclos por segundo
DRX	Difração de Raios X
DTP	Distribuição do tamanho de partículas
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FRX	Fluorescência de Raios X
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/t	Quilowatt-hora por tonelada
MOB	Índice de mobilidade
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
ROI	Retorno dos investimentos
RPM	Rotação por minuto
STD	Standard, padrão
UNESP	Universidade Estadual Paulista
WI	(Work index) índice de trabalho
μm	Micrometros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 BREVE HISTÓRICO DA CERÂMICA.....	23
1.2 A IMPORTÂNCIA DA MOAGEM NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO CERÂMICA.....	25
1.3 OBJETIVOS	26
1.3.1 Objetivo geral	26
1.3.2 Objetivos específicos	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 LEIS DA COMINUIÇÃO.....	27
2.1.1 Primeira Lei da Cominuição	27
2.1.2 Segunda Lei da Cominuição	27
2.1.3 Terceira Lei da Cominuição	28
2.1.3.1 Aplicação da Teoria de Bond.....	29
2.1.4 Síntese das leis de Cominuição	30
2.2 PRINCIPAIS PROCESSOS DE MOAGEM NA FABRICAÇÃO DOS PRODUTOS CERÂMICOS	30
2.2.1 Processo de moagem via seco	31
2.2.2 Processo de moagem via úmida	32
2.3 Revestimento dos moinhos e corpo moedores	33
2.4 Calibragem dos moinhos.....	35
2.4.1 <i>Volume ideal de corpo moedor</i>	35
2.4.2 <i>Rotação do moinho</i>	36
2.4.2.1 <i>Zonas de Moagem</i>	37
2.4.2.2 <i>Movimento interno dos moinhos no processo de moagem a úmido</i>	38
2.4.2.3 <i>Movimento das Bolas Dentro da Carça</i>	39
2.5 PARÂMETROS DE CARREGAMENTO PARA PROCESSO DE MOAGEM VIA ÚMIDA.....	40
2.6 SÍNTESE DOS PARÂMETROS DE CARGA IDEAIS NO PROCESSO VIA ÚMIDA.....	41
2.7 PRINCIPAIS MECANISMOS DE MOAGEM DOS MATERIAIS CERÂMICOS	42
2.8 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE MOAGEM ..	43
2.9 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA MASSA CERÂMICA.....	43
2.10 RESÍDUOS CERÂMICOS.....	44
3 METODOLOGIA	46
3.1 FLUXOGRAMA	46
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	48
3.3 TÉCNICAS INSTRUMENTAIS	49
3.3.1 Fluorescência de raios X	49
3.3.2 Difração de raios X	49

3.3.3 Difração a laser	50
3.3.4 Análise Reológica	50
3.3.4.1 Equipamentos utilizados.....	50
3.3.4.2 Procedimento.....	51
3.3.4.3 Amostra.....	51
3.3.4.4 Leitura da Viscosidade:.....	51
3.3.4.5 Determinação do Resultado de viscosidade.....	52
3.3.4.6 Expressão dos resultados.....	53
3.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1.1 Distribuição do Tamanho de Partículas das matérias primas	56
4.1.2 Análises Químicas dos materiais (FRX)	59
4.1.3 Análise Mineralógica dos materiais (DRX)	60
4.1.4 Consumo de Energia em moinho tipo Alsing com e sem inversor de frequência	63
4.1.6 Resultados Reológicos da barbotina	64
4.1.6.1 Análise do tempo de escoamento em equipamento Copo Ford Abertura 4mm.	64
4.1.6.2 Análise de viscosidade em equipamento brookfield.....	66
4.1.7 Análise do efeito da rotação do moinho (RPM)	67
4.1.7.1 Reavaliação dos parâmetros de rotação para moinho de 148 litros.....	68
4.2 RESULTADOS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	71
4.2.1 Resultados na 4ª hora	72
4.2.1.1 Ajuste do modelo para a 4ª hora de moagem.....	73
4.2.1.2 Diagrama ou Gráfico de Pareto na 4ª hora de moagem.....	74
4.2.1.3 Gráfico de superfície de resposta na 4ª Hora de moagem.....	75
4.2.2 Resultados na 6ª hora	76
4.2.2.1 Ajuste do modelo para a 6ª hora de moagem.....	77
4.2.2.2 Diagrama ou Gráfico de Pareto na 6ª hora de moagem.....	78
4.2.2.3 Gráfico de superfície de resposta na 6ª Hora de moagem.....	79
4.2.3 Resultados na 8ª hora de moagem	80
4.2.3.1 Ajuste do modelo para a 8ª hora de moagem.....	81
4.2.3.2 Diagrama ou Gráfico de Pareto na 8ª hora de moagem.....	82
4.2.3.3 Gráfico de superfície de resposta na 8ª Hora de moagem.....	83
4.2.4 Resultados na 10ª hora de moagem	84
4.2.4.1 Ajuste do modelo para a 10ª hora de moagem.....	85
4.2.4.2 Diagrama/Gráfico de Pareto na 10ª hora de moagem.....	86
4.2.4.3 Gráfico de superfície de resposta na 10ª Hora de moagem.....	88
5 CONCLUSÃO	89
5.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	89
5.1.1 Investimentos	90
5.1.1.1 Simulação Retorno sobre os investimentos - ROI.....	90
5.2 CONSUMO DE EFLUENTES NO PROCESSO DE MOAGEM.....	90

5.2.1 Análise da influência dos efluentes no processo de moagem	90
5.2.2 Custo do tratamento de efluentes de esmaltação.....	91
5.3 PARÂMETROS RELEVANTES AO RESULTADO IDEAL	92
5.3.1 Aplicação dos parâmetros definidos no projeto em um moinho de 12.000 litros.....	93
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS	97
ANEXO	100
ANEXOS A - MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - INSTALAÇÃO RE 6000 EMBRASUL.....	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 BREVE HISTÓRICO DA CERÂMICA

A cerâmica é o material artificial mais antigo produzido pelo homem. Do grego “kéramos”, que significa “terra queimada” ou “argila queimada”, é um material de grande resistência, frequentemente encontrado em escavações arqueológicas. Pesquisas apontam que a cerâmica é produzida há cerca de 10-15 mil anos (ANFACER, 2015).

Com a evolução do homem ao sair das cavernas, as necessidades de um novo homem ao cultivar a terra foram surgindo; prover abrigo, armazenamento de alimentos e água. A argila por sua vez, proporcionou através de sua deformação plástica os quesitos de moldagem desde então.

Sua origem japonesa, sendo que por volta de 5.000 AC essa habilidade se espalhou pela Europa e pela Ásia, sendo desconhecido como aconteceu esse fato; as peças mais antigas conhecidas por arqueólogos, foram encontradas no Japão em áreas ocupadas pela cultura Jomon, há cerca de oito mil anos ou mais.

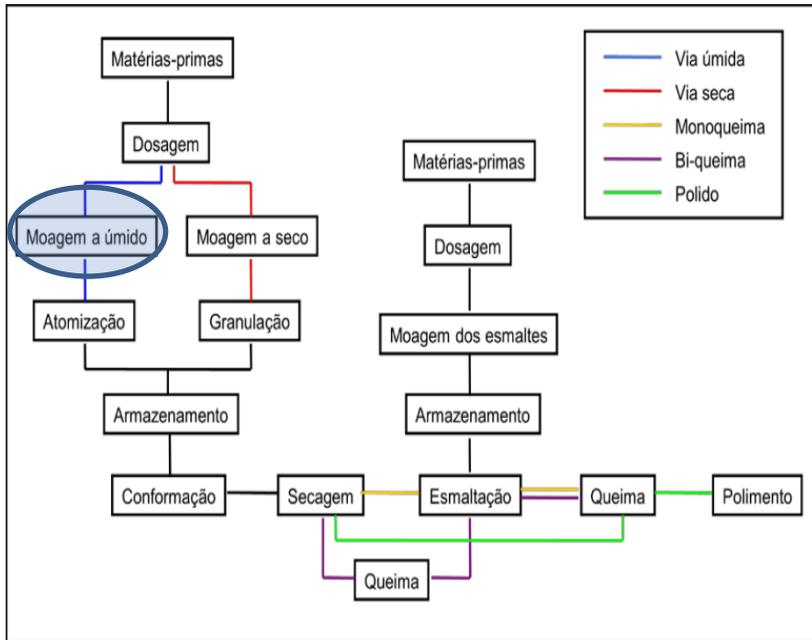
Na China e no Egito sua utilização passa dos cinco mil anos, Nas tumbas dos faraós do Antigo Egito, vários vasos de cerâmica continham vinho, óleos e perfumes para fins religiosos.

No Brasil, a cerâmica tem seus primórdios na Ilha de Marajó. A cerâmica marajoara aponta à avançada cultura indígena que floresceu na ilha. Estudos arqueológicos, contudo, indicam a presença de uma cerâmica mais simples, que indica ter sido criada na região amazônica por volta de cinco mil anos atrás (ANFACER, 2015).

Com o passar do tempo as técnicas foram evoluindo, chegando hoje a produção de produtos cada dia mais elaborados. Com essa evolução foram surgindo processos de fabricação, conseqüentemente novos produtos.

A figura 1 apresenta os processos de fabricação utilizados para a produção dos principais revestimentos cerâmicos (MELCHIADES, 2011).

Figura 1 - Processos de fabricação dos principais revestimentos cerâmicos



Fonte: Melchiades (2011).

O setor brasileiro de revestimentos cerâmicos é constituído por 92 empresas, com maior concentração nas regiões Sudeste e Sul, em expansão no Nordeste do país. Segmento produtivo de capital essencialmente nacional, é também um grande gerador de empregos, com cerca de 27 mil postos de trabalho diretos e em torno de 200 mil indiretos, ao longo de sua cadeia produtiva (ANFACER, 2015).

A figura 2 apresenta a prospecção da capacidade Produtiva Instalada no Brasil- 2006/2015.

Figura 2 - Capacidade produtiva brasileira instalada (2014)



Fonte: ANFACER (2015).

Uma característica típica da produção brasileira é a utilização de dois processos produtivos distintos em seu parque industrial: a via seco e a via úmida. A figura 3 mostra o percentual de atuação desses dois processos, sendo via seco, fortemente explorada na região sudeste e via úmida característica típica dos produtos da região sul.

Figura 3 - Processos de fabricação utilizados no Brasil



Fonte: ANFACER (2016).

1.2 A IMPORTÂNCIA DA MOAGEM NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO CERÂMICA

O processo de moagem é indispensável para a formação dos produtos cerâmicos. Através deste, as matérias primas são moídas e homogeneamente misturadas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

O desenvolvimento e evolução dos produtos cerâmicos, por se tratar de um produto milenar, tem demonstrado grande avanço nos últimos anos, onde os produtos industrializados tem adquirido características muito semelhantes as belezas naturais, as quais, outrora não eram possíveis ao processo de fabricação. Os trabalhos em escala nanométrica vêm proporcionando esse significativo avanço ao segmento.

O processo de moagem na fabricação cerâmica possui influência determinante ao produto, como em sua formação, sua característica, seu desempenho e sua função a que foi desenvolvido. Não se trata somente de uma mistura de argilo-minerais, sua granulometria é determinante e influencia em todas as demais etapas seguintes do processo.

Compreendendo a importância do processo de moagem, maximizar os resultados do uso energético de forma eficaz, como também se tratando de uma matriz cerâmica, o uso inteligente dos recursos naturais, utilizando os resíduos de esmaltação sem alteração da característica do produto é a essência desse projeto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é maximizar a eficiência energética e o uso de efluentes em moinhos cilíndricos no processo de moagem por via úmida para fabricação de revestimentos cerâmicos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as matérias-primas e efluentes industriais quanto a suas características reológicas.
- Avaliar o efeito da viscosidade da barbotina sobre a moagem com a adição de efluentes em relação à água limpa.
- Avaliar o efeito do carregamento em duas etapas sobre o desempenho da moagem.
- Avaliar a influência da rotação sobre o consumo de energia elétrica e sobre a eficiência de moagem.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente revisão bibliográfica apresenta uma breve síntese do processo de cominuição, sua aplicação nos principais processos de moagens utilizados na produção de revestimentos cerâmicos, seus cuidados e características com ênfase no processo de moagem via úmida intermitente.

2.1 LEIS DA COMINUIÇÃO

No tratamento de minerais, podemos observar que a importância da fragmentação se concentra na liberação de minerais de valores agregados de outros minerais menos valorizados, sem que seja modificada sua identidade química e física, na maioria das vezes esse processo é realizado a úmido (CETEM, 2010).

No processo cerâmico, a moagem está ligada diretamente as características desejadas ao produto final, onde além de reduzir o tamanho das partículas, objetiva também a homogeneização das matérias primas, as quais possuam características distintas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

2.1.1 Primeira Lei da Cominuição

Em 1967, Peter Ritter Von Rittinger propôs que a energia necessária para fragmentação está proporcionalmente relacionada ao volume da nova superfície, sua lei se aplica a fragmentações mais finas, como a moagem de clínquer de cimento, seu modelo é representado pela equação (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010):

$$E = K(S_1 - S_0) \quad (1)$$

Sendo:

E - Energia específica(kWh/t);

K - Fator de proporcionalidade;

S_0 - Área do produto;

S_1 - Área do produto final.

2.1.2 Segunda Lei da Cominuição

Em 1883, Friedrich Kick defende que a energia específica para fragmentação está ligada proporcionalmente a redução de volume do tamanho das partículas. Sua lei se aplica a granulometrias mais grossas, seu modelo é representado pela equação (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010):

$$E = C \log \frac{D_0}{D_1} \quad (2)$$

Sendo:

E – Energia Específica;

C – Constante;

D_0 – Diâmetro inicial;

D_1 – Diâmetro final.

2.1.3 Terceira Lei da Cominuição

Segundo Luz, Sampaio e França (2010) as duas primeiras leis da cominuição resultaram em controvérsias entre os dois cientistas e seus seguidores. Essa controvérsia estava associada ao seguinte paradoxo: teoricamente os materiais deveriam ser mais duros do que são na prática, portanto os cálculos teóricos ficavam aquém dos resultados, sendo interpretados diferentemente os resultados por seus pesquisadores.

Como havia divergências entre os dois postulados, em 1952, Fred Chester Bond, postulou uma lei empírica chamada de terceira lei da fragmentação, onde a energia consumida para reduzir o tamanho de um material é inversamente proporcional à raiz quadrada do tamanho. Ele definiu como tamanho, a abertura da peneira pela qual passam 80% do material. Seu modelo é representado pela equação:

$$E = E_0 \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right] \quad (3)$$

Sendo:

P – Tamanho do Produto

F – Tamanho da Alimentação

E_0 – Constante

Em seu postulado propôs o uso de um índice conhecido como WI (*work Index*) que significa índice de trabalho, o qual é definido como o trabalho necessário para reduzir a unidade de peso (tonelada curta = 907 Kg) do material considerado, desde um tamanho inicial teoricamente infinito ($f = \infty$), até uma granulometria 80% passante em 100 μm .

$$WI = E_0 \left[\frac{1}{\sqrt{100}} - \frac{1}{\sqrt{\infty}} \right] \quad (4)$$

$$WI = \frac{E_0}{\sqrt{P}} \quad (5)$$

$$E_0 = 10WI \quad (6)$$

Fazendo a substituição na expressão da lei o valor de E_0 , teremos:

$$E = 10WI \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right] \quad (7)$$

2.1.3.1 Aplicação da Teoria de Bond

A aplicação dessa teoria no cálculo da energia consumida em uma instalação de moagem se difundiu e a determinação experimental do WI é uma prática normal em muitos laboratórios (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Para esta determinação utiliza-se um moinho padrão (proposta na norma técnica NBR 11376 ABNT), e com a metodologia descrita nesta norma calcula-se o índice de moabilidade do material (mob) que corresponde a massa em grama passante na peneira de malha teste, gerada em cada rotação do moinho, simulando um circuito fechado. O valor de WI é calculado pela fórmula seguinte:

$$WI = \frac{44,5}{Am^{0,23} Mob^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right]} \times 1,1 \quad (8)$$

Sendo:

WI – Índice do trabalho em kWh/t;

Am – Abertura da malha teste de classificação em μm ;

P – Abertura da peneira onde passam 80% da massa do produto em μm ;

F – Abertura da peneira onde passam 80% da massa da alimentação em μm ;

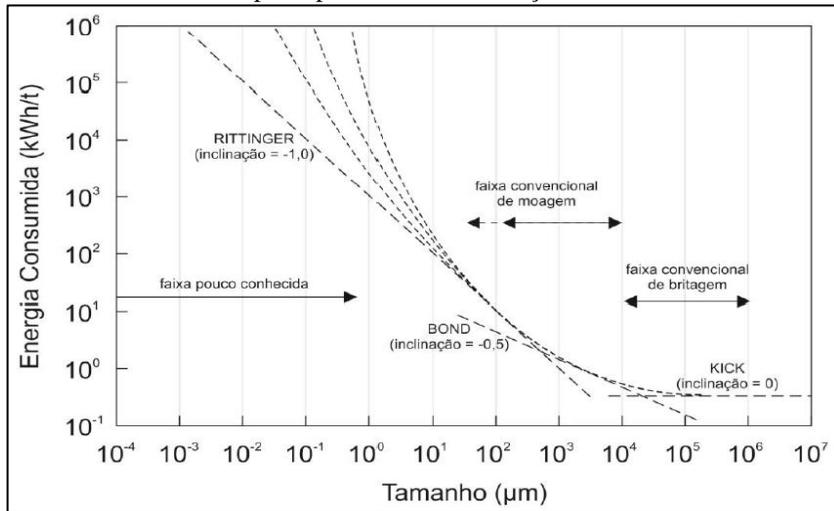
Mob – Índice de moabilidade;

1,1 – Fator de conversão de tonelada curta para tonelada métrica.

2.1.4 Síntese das leis de Cominuição

Segundo Gomes (2014), sua dissertação apresenta de forma gráfica a que fração de fragmentação está correlacionada cada lei da cominuição, ou seja, a teoria de KICK é aplicável em processos de britagem, de Bond a moagem convencional, sendo a de Rittinger aplicável a moagem ultrafinas, conforme gráfico 1:

Gráfico 1 - Síntese das principais leis da cominuição



Fonte: Gomes (2014 apud HUKKI, 1961).

2.2 PRINCIPAIS PROCESSOS DE MOAGEM NA FABRICAÇÃO DOS PRODUTOS CERÂMICOS

“A moagem compreende na operação de cominuição, sendo usada para obter tamanhos de partículas menores que $\frac{3}{4}$ ”. Na moagem ocorrem os mecanismos de arredondamento das partículas, quebra de pontas e abrasão (CHAVES; PERES, 2012)

O maior problema na quantificação da energia de moagem, segundo Wills e Napier-Munn (2006), está no fato de que a maior parte desta energia é absorvida pelo próprio moinho, principalmente na geração de calor, e apenas uma pequena porção é utilizada para a fragmentação das partículas, representando cerca de 1% nos moinhos de bolas.

Além disso, parte da energia é consumida no processo de mudança de forma, ou seja, no alongamento e contração das partículas, uma vez que

se trata de materiais plásticos, sem representar a formação de novas superfícies por quebra/fratura do minério.

O processo de moagem cerâmica tem como objetivo principal reduzir o tamanho dessas partículas, conseqüentemente aumentando a área de contato entre os materiais e entre si, bem como com o meio ao qual estão expostas.

Os processos de moagens dos materiais cerâmicos estão divididos em duas categorias, moagem via seca ou via úmida, como brevemente apresentados na figura 1. A moagem via úmida, por sua vez subdivide-se em processo de moagem intermitente e contínuo.

2.2.1 Processo de moagem via seco

O processo de moagem via seco é característico de produtos compostos por no máximo três tipos distintos de matérias primas. Tal limitação dá-se pela ineficiência de homogeneização e mistura da moagem em virtude dos equipamentos utilizados neste processo.

A moagem dos materiais cerâmicos pelo processo via seco compreende o uso de moinho martelo para fragmentar os materiais mais grosseiros, sendo mais conhecida como moagem primária e moinhos pendulares para moer os materiais mais finos (moagem secundária).

A figura 4 apresenta os principais parâmetros da moagem secundária utilizando moinhos pendulares.

Figura 4 - Parâmetros de moagem secundária realizada em moinhos pendulares

Produção				
Argila + Feldspato				
Modelo	Granulometria max. de alimentação	máxima umidade na entrada	Finura mat. Na saída	Ton/h
3/90	30 mm	20%	< 200µm	1 - 4
3/120				5 - 9
4/150				12 - 31
4/150/RS				14 - 35
6/190				18 - 40
6/190/RS				20 - 45
4/230				23 - 50
5/230				26 - 56
6/230				29 - 62
6/500				40 - 70

Fonte: Manfredini & Schianchi (2015).

Os mecanismos predominantes no processo de moagem por via seca são: Compressão, impacto e desagregação. No processo de moagem via seco os moinhos martelo podem ser substituídos por britadores, pois no processo de britagem o material é geralmente mais grosseiro e os principais

mecanismos de fragmentação são compressão ou impacto (CHAVES; PERES, 2012).

É importante salientar que a eficiência dos moinhos pendulares está condicionada à entrada de materiais pré beneficiados, ou seja, mais finos. A figura 5 mostra imagens do interior de um moinho martelo e de um moinho pendular (MELCHIADES, 2011).

Figura 5 - Imagem interna de moinho: a) Moinho de martelo. b) Moinho pendular



Fonte: Melchiades (2011).

A moagem via seco, normalmente utilizada na região sudeste do Brasil, tem como vantagem um custo de moagem menor em relação à moagem via úmida. Seu custo em energia elétrica está estimado em ~12 kWh/t (ALVES, et. al, 2007).

Conforme literatura, a economia anual do processo em relação à moagem via úmida é subdividida em: 25% devido à economia no uso de defloculante e aditivos; 52% pela redução da energia térmica não necessária; 7% pela redução da energia elétrica e 15% devido aos menores custos de manutenção dos equipamentos (LOLLI; NACETTI; MARINO, 2000).

2.2.2 Processo de moagem via úmida

O processo via úmida é praticamente obrigatório, quando são utilizadas matérias-primas com características físicas muito diferentes entre si, as quais, além de moídas, devem ser homogeneamente misturadas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

A moagem via úmida contínua tem sua viabilidade justificada somente em novas instalações projetadas para grande produtividade, devido seu elevado valor de investimento.

A moagem via úmida garante uma eficiente homogeneização, como também promove reações mais estáveis nos processos de conformação cerâmica e sinterização.

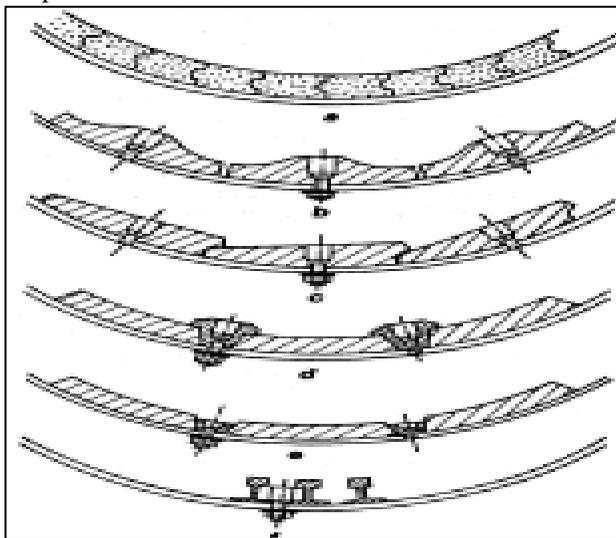
Um dos desafios dos processos de moagem via úmida e atomização é a adição de água; quanto menor a quantidade empregada de líquidos, menores os custos associados à produção (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

De 30 a 40% do consumo de energia elétrica de uma indústria cerâmica é associado ao setor de preparação de massa em processo por via úmida. O consumo de energia elétrica dos moinhos intermitentes, utilizados para a preparação de massa por via úmida, corresponde de ~19 a 40 kWh/t(ALVES, et. al, 2007).

2.3 Revestimento dos moinhos e corpo moedores

Segundo Luz, Sampaio e França (2010), a utilização do revestimento em um moinho tem como finalidade proteger o cilindro contra o desgaste e reduzir o deslizamento da carga moedora dentro da carcaça. O revestimento é feito de ferro fundido branco, ligas de aço, de níquel (Ni-hard), de borracha e raramente de cerâmica ou de quartzito para usos muito especiais. A figura 6 mostra os tipos mais comuns de revestimento de moinhos.

Figura 6 - Tipos mais comuns de revestimentos



Fonte: Luz, Sampaio e França (2010).

O perfil do revestimento interno, também afeta sensivelmente a trajetória dos corpos moedores. As saliências no revestimento, chamadas de *lifters* em inglês, servem para levantar as barras e bolas dando-lhes um impulso ascendente (CHAVES; PERES, 2012). O revestimento interno dos

moinhos é um aspecto fundamental devido à sua influência direta na eficiência de moagem e pelo alto custo agregado relacionado ao tempo de operação, pois o desgaste do revestimento não é uniforme em moinhos contínuos (SILVA; SILVA; SILVA, 2014).

No processo de moagem a escolha do revestimento e das bolas a serem utilizados tem papel fundamental. Os tipos de materiais mais utilizados como revestimentos e corpo moedor nas cerâmicas no processo via úmida são:

- Sílex bruto: É um quartzo turvo, também denominado leitoso ou branco-de-leite devido a inclusões líquidas e gasosas com fraturas cicatrizadas. É utilizado na fabricação de vidro, em cerâmica, como abrasivo, entre outros. Seu uso nas cerâmicas da região sul é bastante observado por sua abundância regional, como também seu baixo custo em relação a ágata e alta alumina. É obtido naturalmente em jazidas, por extração com trabalho manual. Quando seu uso é destinado para bolas de moagem é rolado em tambores para adquirir a forma arredondada e no caso de revestimento seu formato é o de tijolos. Tem densidade relativa de ~2,65 e dureza de 7 na escala Mohs (UNESP, [201-]).

- Ágata: A ágata utilizada pelas cerâmicas como bolas de moagem é normalmente retirada de rios, onde adquire naturalmente sua forma arredondada. Como o sílex, tem densidade ~2,65 e dureza 7 na escala Mohs. Dois estados são considerados os maiores produtores dessas pedras, Minas Gerais e Rio grande do Sul (UNESP, [201-]).

- Alta alumina: Produto considerado de alta densidade, entre 3,45 a 3,96 e dureza 9 na escala Mohs. Sua utilização aumenta consideravelmente o desempenho de moagem em comparação ao uso de ágata e sílex rolado, no entanto, o investimento inicial pode ser elevado. É recomendado no uso de bolas de alta alumina que o revestimento seja também feito do mesmo material ou de um material cuja sua dureza e densidade não venham comprometer o revestimento.

- Revestimento de borracha: De acordo com os fabricantes as características deste revestimento são, economia garantida, versatilidade e eficiência. Quanto a seu custo são necessários estudos mais aprofundados.

As vantagens desse tipo de revestimento segundo fornecedores (WEIR MINERAL, 2016), são:

- Um menor custo instalado;
- Redução da massa do revestimento em 80% em relação aos demais;
- Eficiência operacional;
- Apresenta alta resistência e resiliência;
- Utiliza maior quantidade de carga para o espaço disponível no moinho;
- Manutenção reduzida, com trocas mais rápidas;
- Maior vida útil com menos interrupções para manutenção;

- Menor custo operacional;
- Redução no consumo de energia.

2.4 Calibragem dos moinhos

Para obter-se bons resultados no processo de moagem podemos observar estudos que nos apresentam parâmetros facilitadores a eficácia. É relevante evidenciarmos que cada tipo de material a ser moído tem sua particularidade, a qual deve ser levada em consideração.

2.4.1 Volume ideal de corpo moedor

Quanto ao volume útil ocupado pelo corpo moedor, para se ter uma maior eficiência de moagem, a quantidade de esferas deve ocupar de 35% a 55% do volume útil. Considerando-se que o volume real ocupado pelo meio de moagem é, em média, 60% do seu volume aparente, a quantidade do meio de moagem a ser colocada no moinho pode ser calculada pela seguinte fórmula (SERVITECH, [201-]):

$$Q = \frac{Vu \cdot d \cdot p \cdot 0,60}{100} \quad (9)$$

Q = Quantidade do meio de moagem [Kg];

Vu = Volume útil do moinho [l];

d = densidade do meio de moagem [g/cm³];

p = % de ocupação aparente do meio de moagem

Para se manter a moagem sempre eficiente, recomenda-se fazer reposições periódicas de esferas em função do seu desgaste, sempre pelo maior diâmetro em uso.

É aconselhável compor o carregamento inicial do moinho com três diâmetros diferentes de esferas. No entanto, ocorrem casos em que é necessário intervir com mudanças sensíveis nas porcentagens dos diâmetros ou situações nas quais a carga deve ser constituída por dois ou quatro diâmetros (SERVITECH, [201-]).

O que determina a adoção de uma ou outra solução será sempre a correlação da granulométrica de partida, a dureza do material a ser moído e a viscosidade da barbotina, levando-se em conta as dimensões e os tipos de moinhos empregados. Na tabela 1, apresenta parâmetros utilizados em função do volume útil do moinho.

Tabela 1 - Tabela de distribuição usual (%) em função do volume útil do moinho.

Volume útil do moinho (l)	Ø20	Ø30	Ø40	Ø50	Ø60
50	70	30			
100	50	50			
250	40	40	20		
500	25	50	25		
1000		50	50		
1500		40	40	20	
2000		30	40	30	
3000			25	50	25
>3000			30	40	30

Fonte: SERVITECH, [201-].

Para moinhos de laboratório, menores e bolas de alumina de alta densidade, somente empregam-se dois tamanhos:

80% de bolas de 12mm

20% de bolas de 20mm

2.4.2 Rotação do moinho

Segundo Luz, Sampaio e França (2010), na década de 20 usavam-se velocidades acima de 80% da velocidade crítica nos maiores moinhos operados na época (ϕ 2,4 m). Entretanto, Taggart mostrou que operando-se a 57% da velocidade crítica reduz-se o consumo de energia, assim como de revestimento e de bolas, sem baixar muito a capacidade do moinho.

Atualmente, todos os fabricantes recomendam uma sensível diminuição da velocidade de operação do moinho, com o aumento do diâmetro do cilindro. A figura 7, apresenta 4 situações a serem observadas na rotação de um moinho (RIBEIRO; ABRANTES, 2001):

A – Aceleração centrífuga(ac), muito inferior a aceleração da gravidade(g), baixo grau de moagem;

B – Bolas(β) inclinam de 45-60° promovendo efeito cascata e bom desempenho de moagem com menor desgaste.

C – Ângulo alcançado por β aproximadamente 90° a partir do qual atingimento ac deixando de haver moagem;

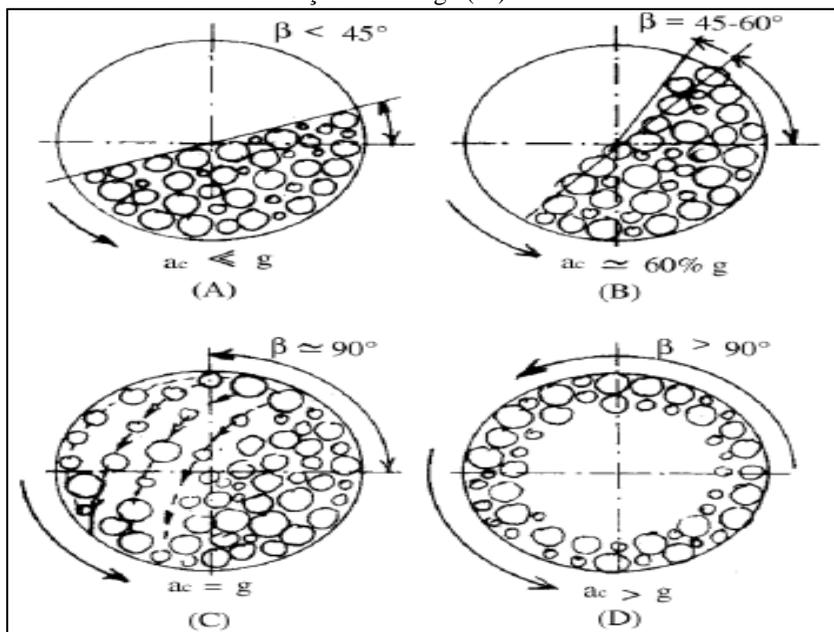
D – Ângulo de β superior a 90°, aceleração centrífuga não havendo moagem; Conforme a literatura o calculo de rotação ideal dá-se pela seguinte equação:

$$V_{ac} = 42,3 / (D)^{1/2} \quad (10)$$

Velocidade ótima de rotação:

- ~75% da a_c , Bolas de baixa densidade;
- ~60% da a_c , Bolas de Alta densidade.

Figura 7 - Ilustração do interior de um moinho de bolas para quatro diferentes valores da aceleração centrífuga (a_c).



Fonte: Ribeiro e Abrantes (2001).

2.4.2.1 Zonas de Moagem

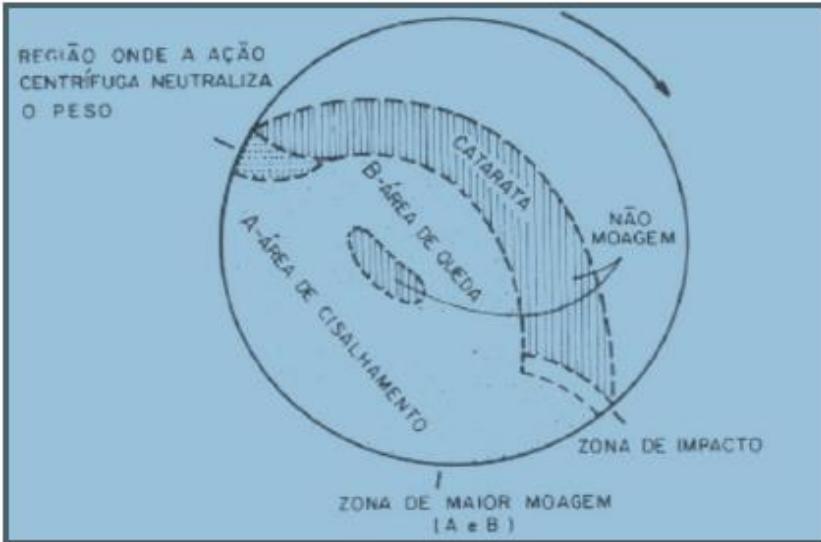
De acordo com Oliveira (2012), apresentou em sua fundamentação teórica de sua defesa de Especialista em engenharia de minas, a existência de três zonas de moagem durante a movimentação do moinho, fundamentadas por Beraldo, 1987, são elas:

- Zona de cisalhamento, onde as bolas rolam umas sobre as outras em camadas concêntricas, através do próprio movimento individual das mesmas dentro do moinho. Nesta zona a quebra das partículas ocorre pelos mecanismos de compressão e cisalhamento.

- Zona de quebra, onde ocorre o movimento de cascata.
- Zona de impacto, em que a moagem ocorre pelo regime de catarata.

A figura 8 apresenta as zonas de moagem descritas anteriormente:

Figura 8 - Definição de Áreas de moagem



Fonte: Oliveira (2012 apud BERALDO, 1987).

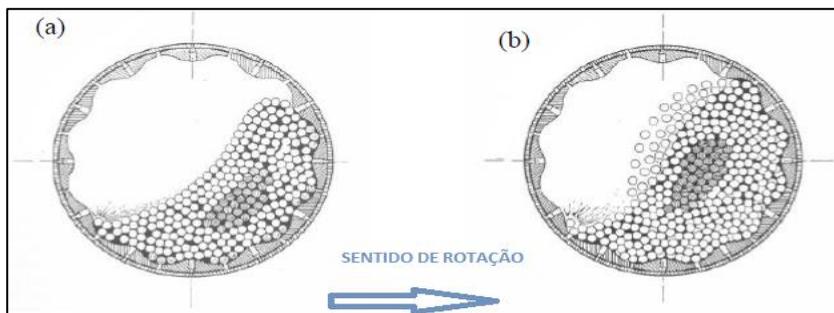
2.4.2.2 Movimento interno dos moinhos no processo de moagem a úmido

O movimento rotacional do moinho atrelado a ancoragem da carga ao revestimento, devido a força gravitacional, corrobora a movimentos conhecidos como:

- Moagem em cascata(a)
- Moagem em catarata(b)

A figura 9 apresenta esses dois regimes, onde suas diferenças podem ser definidas através aumento ou redução da rotação.

Figura 9 - Movimento de carga dentro do moinho



Fonte: Oliveira (2012 apud BERALDO, 1987).

Pode-se observar que de acordo com o movimento da carga, as áreas de não moagem são diferentes entre os dois movimentos, sendo fundamental a escolha da rotação ideal, de acordo com a necessidade de cada material.

2.4.2.3 Movimento das Bolas Dentro da Carcaça

Segundo Luz, Sampaio e França (2010, p. 184) o corpo moedor apresenta alguns movimentos, os quais são responsáveis pelo processo de moagem, como:

Rotação - as bolas giram em torno delas mesmas e produzem uma fragmentação por compressão, tal como no moinho de rolos. Este efeito é pequeno dentro do moinho.

Translação - é o movimento circular de acompanhamento da carcaça do moinho, até uma certa altura. Este movimento não promove nenhuma fragmentação e é responsável pelo gasto excessivo de energia na moagem.

Deslizamento - é o movimento contrário ao movimento do moinho. As várias camadas de bolas deslizam umas sobre as outras e a superfície interna do moinho, dando origem à fragmentação por atrito. Este efeito é acentuado quando a velocidade de rotação do moinho é baixa.

Queda - é o movimento resultante das bolas pela força da gravidade e que vai dar origem à fragmentação por impacto. Este efeito aumenta com a velocidade de rotação do moinho.

Os movimentos mencionados anteriormente são potencializados ou até mesmo extintos de acordo com a rotação utilizada no processo de moagem. Segundo Taggart (1945), Beraldo (1987) e Luz, Sampaio e França (2010), a rotação ideal está entre 57% a 75% da rotação centrifuga.

2.5 PARÂMETROS DE CARREGAMENTO PARA PROCESSO DE MOAGEM VIA ÚMIDA

A figura 10 apresenta esquematicamente os parâmetros de carregamento de um moinho tipo Alsing, utilizado no processo de moagem de revestimentos cerâmicos por via úmida. Fatores importantes para o desempenho eficaz de moagem, como (SERVITECH[201-]):

- Espaço livre, a ser considerado, em geral o conteúdo máximo de barbotina deve ser tal que deixe livre 25% do volume útil do moinho;

- Corpo moedor, conforme mencionado no item 2.1.2.1 sobre revestimento dos moinhos e corpo moedor apresenta um volume ideal para uma moagem eficiente de 35% a 55% (volume aparente) do volume útil;

- Volume de carga, recomenda-se que a quantidade de material a ser moído deva ocupar de 20 a 45% do volume útil do moinho, Para um calculo exato da carga de materiais a serem moídos, necessita-se dos seguintes dados:

- ΔM - Capacidade útil do moinho (l);

- δb - Densidade desejada na suspensão (g/cm^3);

- ΔS - Percentual de material sólido presente na suspensão, conforme tabela 2.

- β - Coeficiente definido para determinados tipos de revestimento e corpo moedor com alta e baixa densidade.

- Sílex – 0,55

- Alumina – 0,67

Tabela 2 - Tabela de relação entre densidade da suspensão, conteúdo em sólido e densidade de sólidos

ΔS	densidade de sólidos (g/cm ³)					
	2,60	2,62	2,64	2,66	2,68	2,70
50	1,444	1,447	1,450	1,453	1,456	1,459
52	1,471	1,474	1,477	1,480	1,483	1,487
54	1,498	1,501	1,505	1,508	1,512	1,515
56	1,526	1,530	1,533	1,537	1,541	1,545
58	1,555	1,559	1,563	1,567	1,571	1,575
60	1,585	1,590	1,594	1,598	1,603	1,607
62	1,617	1,622	1,626	1,631	1,636	1,640
64	1,650	1,655	1,680	1,685	1,670	1,675
66	1,684	1,689	1,695	1,700	1,706	1,711
68	1,720	1,725	1,731	1,737	1,743	1,749
70	1,757	1,763	1,769	1,775	1,782	1,788

Fonte: Bernardin (2015).

Fórmulas:

Sólidos:

Para o cálculo da carga são utilizadas as seguintes fórmulas. Para determinar a massa de material seco MS a ser carregado no moinho utiliza-se:

$$M_s = \beta \cdot \Delta M \cdot db \cdot \Delta S / 100 \quad (11)$$

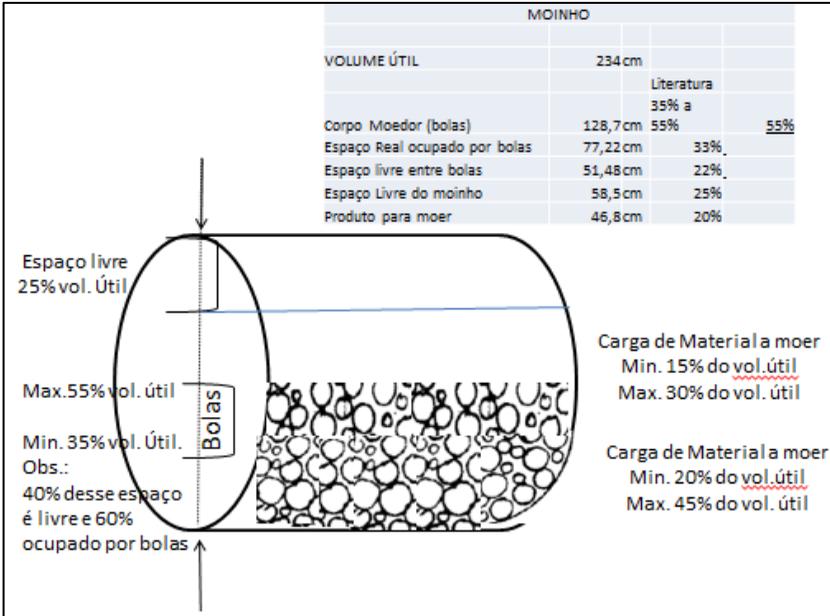
A quantidade de líquido ΔL é dada por:

$$\Delta L = M_s \cdot \Delta A / \Delta S \quad \text{onde } \Delta A = 100 - \Delta S \quad (12)$$

2.6 SÍNTESE DOS PARÂMETROS DE CARGA IDEAIS NO PROCESSO VIA ÚMIDA

Para uma melhor visualização dos parâmetros de moagem via úmida apresentados pela literatura, apresenta-se na figura 10 uma síntese entre os limites máximos e mínimos, os quais corroboram com a eficiência do processo. Os dados foram tabulados em um moinho com diâmetro de 2,34 metros e 3,14 metros de comprimento.

Figura 10 - Parâmetros de carga de um moinho tipo alsing Ø2,4m



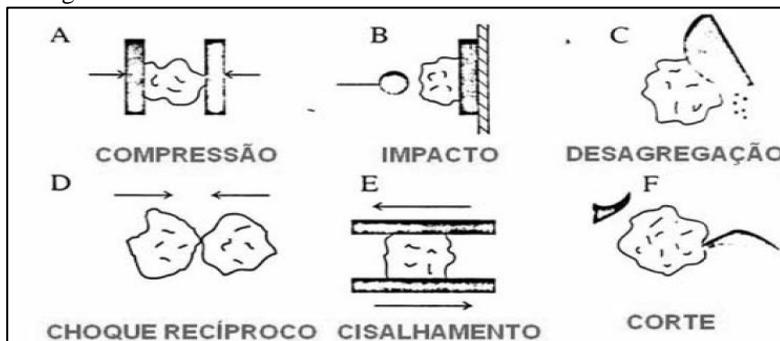
Fonte:(do Autor, 2016)

A escolha dos tipos de materiais a serem empregados para a construção da carcaça, dos revestimentos e dos corpos moedores, além da determinação da velocidade de operação, do fator de enchimento e das características da polpa, como a porcentagem de sólidos e sua densidade, é tão importante para a obtenção do produto desejado, quanto o correto dimensionamento do equipamento propriamente dito (OLIVEIRA, 2012).

2.7 PRINCIPAIS MECANISMOS DE MOAGEM DOS MATERIAIS CERÂMICOS

Segundo Melchiades (2011), os principais mecanismos para a moagem de materiais cerâmicos são mostrados na figura 11. No presente estudo, são apresentadas as características da moagem via úmida intermitente em moinhos cilíndricos, cujo no processo de moagem destaca-se dois dos principais mecanismos, moagem por impacto e por cisalhamento.

Figura 11 - Principais mecanismos de moagem em moinhos cilíndricos tipo Alsing



Fonte: Melchiades (2011).

A fratura por impacto leva à formação de uma grande quantidade de partículas com ampla distribuição de tamanhos pela aplicação de uma força compressiva muito superior à resistência mecânica das mesmas (VALADÃO; ARAÚJO, 2007).

O cisalhamento, ou abrasão, pode ocorrer quando a força aplicada não é suficiente para provocar a fratura em toda a partícula, gerando pequena diminuição do tamanho da partícula original e a formação de partículas muito finas (VALADÃO; ARAÚJO, 2007).

2.8 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE MOAGEM

De acordo com estudo publicado por Ribeiro e Abrantes (2001), a eficácia do processo de moagem é influenciada pelas características da própria matéria-prima, tais como:

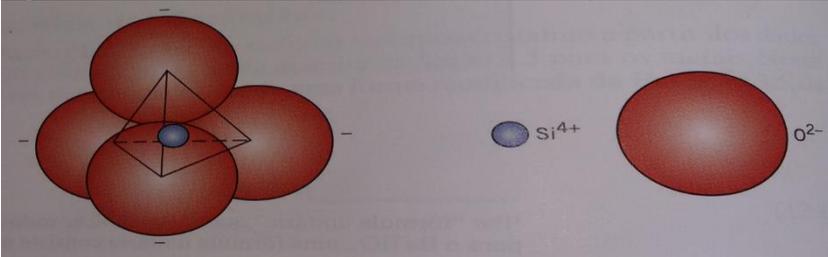
- Dimensão e forma inicial das partículas;
- Dureza do material (resistência à compressão, ao choque e à abrasão)
- Estrutura homogênea ou heterogênea;
- Umidade ou higroscopicidade;
- Sensibilidade à variação da temperatura;
- Tendência à aglomeração.

2.9 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA MASSA CERÂMICA

De acordo com Callister Jr. (2012), os silicatos são materiais compostos principalmente por silício e oxigênio, os dois materiais mais

abundantes na crosta terrestre. Cada átomo de silício está ligado a quatro átomos de oxigênio localizados nos vértices do tetraedro. O átomo de silício está posicionado no centro do tetraedro, uma vez que essa é a unidade básica dos silicatos.

Figura 12 - Unidade básica do tetraedro de silício (SiO_4^{4-})



Fonte: Callister Jr. (2012, p. 396).

Os produtos cerâmicos são compostos em grande parte por argilas, que basicamente são silicatos de alumínio hidratados. A defloculação é uma importante etapa no processo cerâmico para obtenção de uma massa (barbotina) com viscosidade e fluidez controladas, objetivando a maior densidade possível.

As massas cerâmicas têm elevada energia superficial, e podem ser estabilizadas com o uso de surfactantes denominados defloculantes. A estabilização se dá no momento em que a força repulsiva supera a força de atração (forças de van der Waals), que são diferentes em cada material.

Segundo Delavi (2011), que estudou a defloculação de cinco argilas caulínicas e ílticas utilizando defloculantes à base de lítio, sódio e potássio, a área superficial específica, determinada pela técnica de BET, e a fase argilomineral predominante são os dois parâmetros mais relevantes ao analisar o consumo de defloculante. Os resultados demonstraram que as argilas com maior fração de caulinita, maior área superficial específica e maior fração abaixo de 0,2 e 2 μm têm viscosidade elevada. Desta forma, as propriedades que afetam o consumo de defloculante estão relacionadas com a natureza e quantidade da fase mineralógica presente nas matérias-primas (DELAVI, 2011).

2.10 RESÍDUOS CERÂMICOS

A incorporação de resíduos sólidos a uma matriz cerâmica pode minimizar os problemas ambientais causados por uma destinação incorreta

destes resíduos, ao mesmo tempo em que reduz o uso de matérias-primas naturais para obtenção do produto final (SILVA et al, 2015).

As empresas buscam maximizar o reaproveitamento de seus resíduos, dando assim um destino consciente e seguro aos mesmos. Em muitos casos, um correto planejamento e gestão dos resíduos os tornam produtos de valor agregado.

Planejamento é uma ferramenta de gestão. É um processo de organização de tarefas para se chegar a um fim, com fases características e sequenciais que, em geral, estão na seguinte ordem:

- Identificação do objeto do planejamento;
- criação de uma visão sobre o assunto;
- definição do objetivo do planejamento;
- determinação de uma missão ou compromisso para se atingir o objetivo do planejamento;
- definição de políticas e critérios de trabalho;
- estabelecimento de metas;
- desenvolvimento de um plano de ações necessárias para se atingir as metas e cumprir a missão e objetivos;
- estabelecimento de um sistema de monitoramento, controle e análise das ações planejadas;
- definição de um sistema de avaliação sobre os dados controlados e; finalmente,
- previsão da tomada de medidas para prevenção e correção quanto aos desvios que poderão ocorrer em relação ao plano (FLORIANO, 2004).

Segundo Velho e Bernardin (2011), resíduos de ETE (lodo) podem ser usados até aproximadamente 25% na produção de engobes, não acarretando alterações significativas nas condições de processamento e nas características do produto final.

Babisk et al. (2012) caracterizaram e avaliaram os efeitos da incorporação de resíduo de quartzito em cerâmica vermelha. Foram estudadas incorporações de até 40% em peso de resíduo em massa cerâmica e os corpos de prova foram queimados a 800 °C.

O estudo mostrou que a incorporação de resíduo de quartzito em cerâmica vermelha se mostrou viável, dando uma destinação ambientalmente correta a estes resíduos poluentes. Pequenas frações de adição mantêm as propriedades tecnológicas da massa cerâmica original, e mesmo maiores adições mantêm as propriedades dentro de limites estabelecidos por normas.

3 METODOLOGIA

A figura 13 apresenta o fluxograma das etapas do estudo. Primeiramente foram caracterizadas as matérias-primas e efluentes utilizados no trabalho. Consequentemente foi realizado o planejamento experimental, determinando-se os fatores relevantes ao estudo. Para finalização tratou-se da caracterização das suspensões cerâmicas (barbotinas) obtidas a partir do planejamento experimental.

3.1 FLUXOGRAMA

Figura 13 - Fluxograma das etapas do estudo



Fonte: Do autor (2015).

A seguir cada procedimento do planejamento experimental será descrita detalhadamente.

O estudo foi iniciado pela separação das matérias primas, identificando o teor de umidade e o resíduo inicial de cada matéria-prima, com objetivo de analisar a uniformidade dos lotes.

O método aplicado para determinação da umidade através da pesagem de 100 g do material in natura e secagem em estufa (Fisher) a 200°C por 15 minutos. O material fora novamente pesado, determinando-se assim o percentual de umidade.

Para determinação do resíduo o método utilizado fora a separação por peneira de malha #325 mesh. 100 g de material, dissolvidos em água e peneirados sob água corrente até que nenhum sólido passasse. O resíduo que ficara retido na peneira foi levado a estufa (Fisher) a 200°C por 20 minutos. O material novamente pesado, determinando-se assim o percentual mássico de resíduo.

Para a formulação da massa cerâmica, as matérias-primas foram pesadas de acordo com o percentual mássico previsto para cada matéria prima na formulação de uma massa padrão de monoporosa. Foram preparados lotes de matéria primas com torrões/fragmentos com tamanho máximo de ~2mm, por peneiramento, com objetivo de evitar o uso de fragmentos com tamanhos maiores que as bolas de moagem, pois será utilizado um moinho de 148 litros para os testes iniciais.

Para controle de moagem foram determinados a densidade, a viscosidade e o resíduo em cada experimento, cujas metodologias descritas a seguir:

Para análise da viscosidade utilizou-se um viscosímetro tipo copo Ford com orifício nº 4. A barbotina (suspensão cerâmica) depositada no copo, preenchendo-o completamente, mantendo-se a abertura inferior fechada. Após liberação da abertura, o tempo de escoamento da suspensão (em s) fora cronometrado.

A densidade determinada utilizando-se um densímetro com capacidade para 100 ml de material. A massa da barbotina descontada da massa do densímetro (200 g), sendo assim determinada a densidade da barbotina (massa de barbotina/volume interno do densímetro).

O procedimento para identificação do resíduo da barbotina é o mesmo usado para identificar individualmente o resíduo das matérias-primas. Porém, por se tratar de uma suspensão cerâmica, em estado líquido, será utilizado o próprio recipiente do densímetro como padrão de volume, pois este corresponde a 100 ml.

Os fatores observados nesse estudo foram:

- rotação;
- carregamento;
- efluentes em substituição a água limpa.

Os resultados estão pautados no percentual de resíduo não passante em malha #325 mesh em 4(quatro) período, sendo o primeiro período na quarta hora de moagem, o segundo período na sexta hora de moagem, o terceiro período na oitava hora de moagem e o quarto na décima hora de moagem.

Para um melhor entendimento dos resultados, foram caracterizadas as matérias primas e efluentes quanto a sua distribuição de partículas, composição química, mineralógica e reologia da barbotina em dois métodos de leitura da viscosidade: copo Ford e viscosímetro Brookfield

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

As matérias-primas e insumos foram fornecidos pela empresa cerâmica Artística Giseli. Por ética industrial, as matérias-primas e insumos a serem utilizados serão denominados como:

Matéria-Prima B, C, D, E e F;

Silicato de sódio;

Efluentes (resíduos de esmalte e engobe sem prévio tratamento).

Os equipamentos utilizados no desenvolvimento do trabalho, todos instalados na empresa cerâmica Artística Giseli, são:

Moinho cilíndrico com capacidade de 148 litros, tipo Alsing, com revestimento de alta alumina;

Moinho cilíndrico com capacidade para 12.000 litros, motor de 50 CV, tipo Alsing, com revestimento de sílex branco;

Corpo moedor de ágata com densidade $2,5 \text{ g/cm}^3$ e dureza 7 na escala de Mohs;

Corpo moedor de alta alumina com densidade $3,61 \text{ g/cm}^3$ e dureza 9 na escala de Mohs.

A composição cerâmica a ser utilizada é de uma massa padrão de monoporosa, com densidade entre $1,60$ a $1,66 \text{ g/cm}^3$, tempo de escoamento de 45 a 55 segundos, medido através de Copo Ford pastilha de 4mm, como parâmetro de viscosidade e resíduo final de 11% retido na malha # 325 mesh.

A medição do consumo de energia do moinho, fora realizada, utilizando um medidor RE 6000 de marca Embrasul, mostrado na figura 14. Os testes de moagem foram realizados utilizando-se um inversor ATV61HD45N4 da marca schneider para um motor de 45KW/60CV 380....480V IP20.

Figura 14 - Análise de energia RE 6000



Fonte: Belman (2015).

3.3 TÉCNICAS INSTRUMENTAIS

As técnicas instrumentais são imprescindíveis em todas as atividades que envolvem pesquisa, produção e desenvolvimento, baseiam-se num mesmo princípio de excitação do átomo (elemento) a ser dosado e quantificando a resposta obtida, tanto por emissão quanto por absorção atômica. Para caracterização dos materiais serão utilizadas análises de DRX, FRX, difração a laser e viscosímetro brookfield e/ou copo Ford de acordo com os seguintes procedimentos:

3.3.1 Fluorescência de raios X

Essa técnica possibilita a identificação dos elementos químicos existentes na amostra (material), quantificando-os percentualmente. O equipamento a ser utilizado para essa análise será um analisador Bruker modelo S2 Ranger. As amostras serão secas por 12 h a 60°C. Após secagem será obtida uma pérola por fusão utilizando-se tetraborato como fundente. A determinação da perda ao fogo será por calcinação.

3.3.2 Difração de raios X

A técnica possibilita a identificação das fases cristalinas presentes na amostra. O equipamento a ser utilizado será um difratômetro de raios X Bruker modelo D2 Phaser. As amostras serão secas por 12 h a 60°C. O

material seco será depositado no porta amostras do analisador. A varredura será entre 10 a 80°, com velocidade de 2°/min, aceleração de 30 kV e 30 mA e comprimento de onda Cu $K_{\alpha 1}$ de $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$.

3.3.3 Difração a laser

A determinação da distribuição de tamanho de partículas por difração a laser será realizada utilizando-se um analisador CILAS modelo 990. O analisador tem uma faixa de leitura para determinação do tamanho de partículas que varia de 0,2 à 500 μm . Toda a amostra a ser analisada deve ser previamente peneirada em malha 32 mesh (500 μm).

Para análise de amostras recebidas como pó, p.ex. matéria primas e massas atomizadas, as amostras devem ser secas por 12 h a 60°C, em seguida dissolvidas (10 g) em 150 ml de água deionizada juntamente com 0,1 ml de surfactante e a solução resultante homogeneizada em um agitador mecânico por 10 min com velocidade aproximada de 1000 rpm.

Para análise de amostras recebidas como suspensão, p.ex. barbotinas, as amostras devem ser diluídas (20 ml) em 100 ml de água deionizada e a solução resultante homogeneizada em um agitador mecânico por 10 min com velocidade aproximada de 1000 rpm.

As análises de tamanho de partículas permitem a determinação da distribuição de tamanho de partículas de cada composição. A análise da distribuição de tamanho de partículas de uma matéria-prima, em conjunto com a análise química e mineralógica, permite avaliar a viabilidade ou não do uso de uma matéria-prima em uma composição cerâmica, como também a utilização do processo de moagem mais adequado.

3.3.4 Análise Reológica

Para obter o melhor entendimento do estado reológico da barbotina, temos os ensaios comparativos entre os resultados de um viscosímetro Brookfield e ensaios realizados em copo Ford, equipamento padrão utilizado nas cerâmicas.

Para identificar a fluidez da massa em questão, fora feito comparativo de dois tipos de medição de viscosidade realizados na empresa Safira soluções minerais de acordo com o procedimento descrito a seguir:

3.3.4.1 Equipamentos utilizados

- Agitador;
- Béquer de 1000 e 600 ml;
- Bureta volumétrica com precisão 0,05 ml;
- Cronômetro;
- Balança com precisão de 0,01g;

- Espátula de metal.

3.3.4.2 Procedimento

- Parâmetros de Ensaio:
- Definir antes da preparação da suspensão:
- Defloculante a ser utilizado: Silicato de Sódio;
- Percentual de sólidos e densidade da suspensão;
- Viscosímetro a ser utilizado:
- Viscosímetro Copo Ford Pastilha 4 mm, com haste e rotações convenientes;
- Viscosímetro Rotacional Brookfield, com haste e rotações convenientes;

3.3.4.3 Amostra

- A massa deve ser moída sem adição de defloculante;
- Pesar a barbotina inicial para determinar a quantidade de sólido.
- Elaboração da Curva de Defloculação:
- Determinar a densidade da suspensão, ajustando para 1,660;
- Se a densidade estiver acima do especificado, adicionar água e ajustar;
- O range para trabalho da densidade é de + ou - 0,002 (1,658-1,662);
- Após densidade ajustada, pesar a barbotina para curva de defloculação;

3.3.4.4 Leitura da Viscosidade:

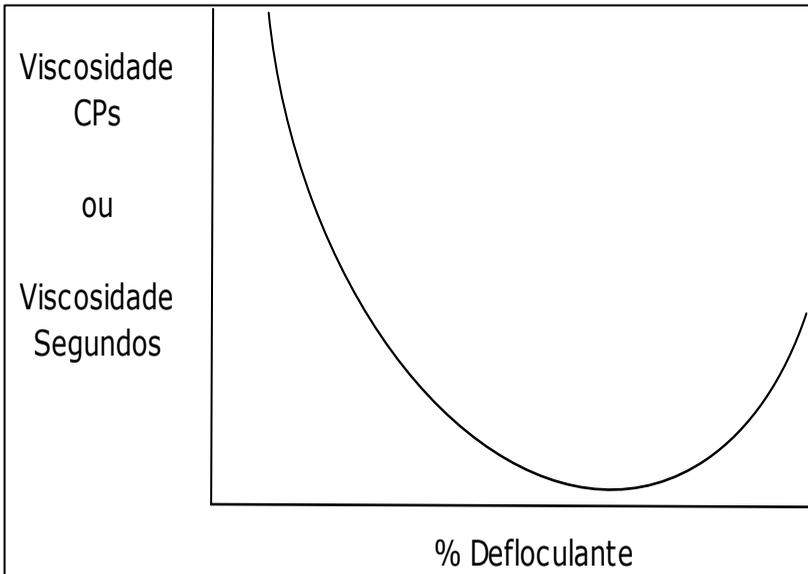
- A adição de defloculante é feita sempre em volume através da bureta, e sabendo-se a densidade do mesmo, calcula-se a massa de defloculante adicionado;
- Utilizar Viscosímetro Copo Ford Pastilha 4 mm ou Viscosímetro Rotacional Brookfield à 12 RPM;
- Agitar a barbotina no agitador, numa velocidade de 1300 rpm durante 1:00 min;
- Fazer leitura no viscosímetro e anotar;
- Adicionar defloculante e anotar;
- Repetir até que estabilize o valor de viscosidade;
- Conhecendo o percentual de sólidos da suspensão, calcula-se o material seco;

- Sobre o peso de material seco na suspensão, calcula-se o percentual de defloculante equivalente as gramas adicionadas;

3.3.4.5 Determinação do Resultado de viscosidade

Após o término do ensaio, a Curva de Defloculação é construída em um gráfico, sendo que no eixo das ordenadas são plotados os valores de Viscosidade (CPs ou segundos), e no eixo das abscissas o % de defloculante adicionado equivalente a cada valor de viscosidade, conforme modelo apresentado na figura 15:

Figura 15 - Modelo de curva de defloculação



Fonte: Do autor com dados internos da Safira (2016).

3.3.4.6 Expressão dos resultados

Todos os valores são calculados em base seca.

O valor da massa seca é calculado através da expressão:

$$\frac{MT = \text{Sólido} \times UM}{100} \quad (13)$$

Onde: MT= Massa Total seca

Sólido= sólido da amostra

MU= Massa Úmida.

$$\% \text{ Defloc. Adic.} = \text{Defloc. MI} \times \text{Dens. Defloc.} = V1 \quad (14)$$

$$V1 \times 100 / \% \text{Sólido Bar.} = V2 \quad (15)$$

Somatório= Fazer somatório dos valores para lançar na Tabela

Onde: Defloc. MI= Defloculante adicionado em ml;

Dens. Defloc.= Densidade Defloculante;

V1= Valor 1

% Sólido Bar.= % Sólido da barbotina.

3.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para esse estudo foram utilizados como fatores de desempenho de moagem, a variação de rotação do moinho, o carregamento do moinho em duas etapas, o uso de efluentes ou água limpa. Fora também utilizado um planejamento experimental tipo fatorial completo com 3 fatores, 2 níveis, totalizando 12 experimentos, sendo 4 pontos centrais (2^3+4), conforme tabela 3:

Tabela 3 - Planejamento experimental fatorial $2^k + 4$ mostrando os fatores (rpm, duplo carregamento, água/efluente), nos experimentos (1 a 12).

EXPERIMENTOS				ROTAÇÃO	CARREGAMENTO	ÁGUA / EFLUENTE	RESÍDUO 4ª HORA	RESÍDUO 6ª HORA	RESÍDUO 8ª HORA	RESÍDUO 10ª HORA
	A	B	C							
1	-1	-1	-1	15	70	0,9998				
2	-1	-1	1	15	70	1,05				
3	-1	1	-1	15	100	0,9998				
4	-1	1	1	15	100	1,05				
5	1	-1	-1	19	70	0,9998				
6	1	-1	1	19	70	1,05				
7	1	1	-1	19	100	0,9998				
8	1	1	1	19	100	1,05				
9	0	-1	-1	17	70	0,9998				
10	0	-1	1	17	70	1,05				
11	0	1	-1	17	100	0,9998				
12	0	1	1	17	100	1,05				

Fonte: Do Autor (2015).

Os testes foram realizados em moinho com capacidade para 148 L, com carga de 87 kg de matérias-primas e adição de 34 L (dens. 0,9998, 1,05) de efluentes e/ou água limpa.

O acompanhamento dos testes, foram feitos através da medição da densidade, viscosidade e resíduo na 4ª, 6ª, 8ª e 10ª hora de moagem, conforme tabela 4:

Tabela 4 - Planilha de acompanhamentos dos testes de moagem via úmida em moinho com volume útil de 148 litros.

TESTES DE MOAGEM																	
TESTE	DUPLO		ÁGUA LIMPA	DENSIDADE FINAL	DEFLOCULANTE	4ªHORA			6ªHORA			8ªHORA			10ªHORA		
	RPM	CARREGAMENTO				EFLUENTE	VISCOSIDADE	DENSIDADE	RESÍDUO	VISCOSIDADE	DENSIDADE	RESÍDUO	VISCOSIDADE	DENSIDADE	RESÍDUO	VISCOSIDADE	DENSIDADE
1	15	70/30	0,9998		0,890%												
2	15	70/30	1,05		0,890%												
3	15	100	0,9998		0,890%												
4	15	100	1,03		0,890%												
5	19	70/30	0,9998		0,890%												
6	19	70/30	1,05		0,890%												
7	19	100	0,9998		0,890%												
8	19	100	1,05		0,890%												
9	17	70/30	0,9998		0,890%												
10	17	70/30	1,05		0,890%												
11	17	100	0,9998		0,890%												
12	17	100	1,06		0,890%												

Fonte: Do Autor (2016).

A tabela 4, apresenta 12 testes de moagem, realizados na empresa Cerâmica Artística Giseli, juntamente ao processo industrial, com acompanhamento dos fatores destacados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão ordenados de acordo com o cronograma definido na figura 13 com seus respectivos tópicos, estão tabuladas as principais caracterizações das matérias primas e efluentes, quanto ao tamanho de partículas, análises químicas, mineralógicas, como também a formação mineral apresentada na massa em estudo.

4.1.1 Distribuição do Tamanho de Partículas das matérias primas

Nos resultados obtidos na tabela 5, pode-se observar que mais de 80% das partículas possuem tamanhos abaixo de 50 μm , Os resultados de tamanho de partículas de cada matéria prima encontram-se nos anexos.

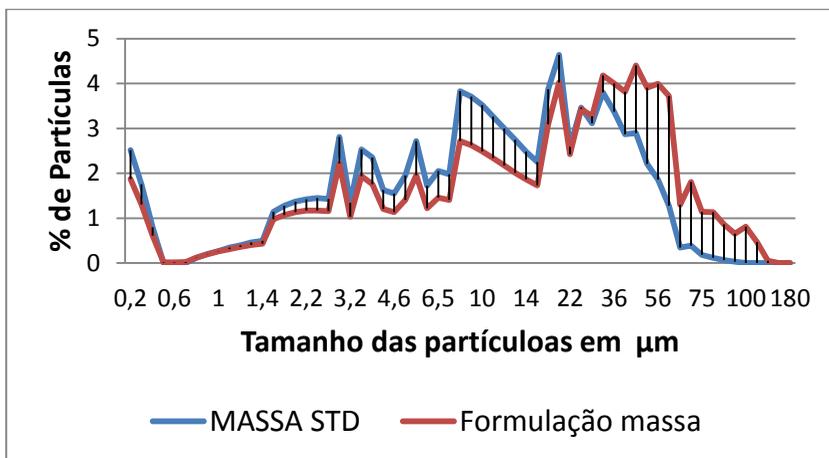
Tabela 5 - Resumo dos tamanhos de partículas da massa em estudo anterior ao processo de moagem

Resumo		
PARTÍCULAS		FORMULAÇÃO
0,2 a 25	Mm	60,28%
26 a 50	Mm	23,58%
51 a 75	μm	11,96%
75 a 100	μm	3,65%
>100	μm	0,53%

Fonte: Do Autor, 2016.

O gráfico 2 apresenta um comparativo do tamanho de partículas entre a massa em estudo (STD) e a formulação .

Gráfico 2 - Comparativo entre tamanho de partículas da massa STD e a formulação da massa

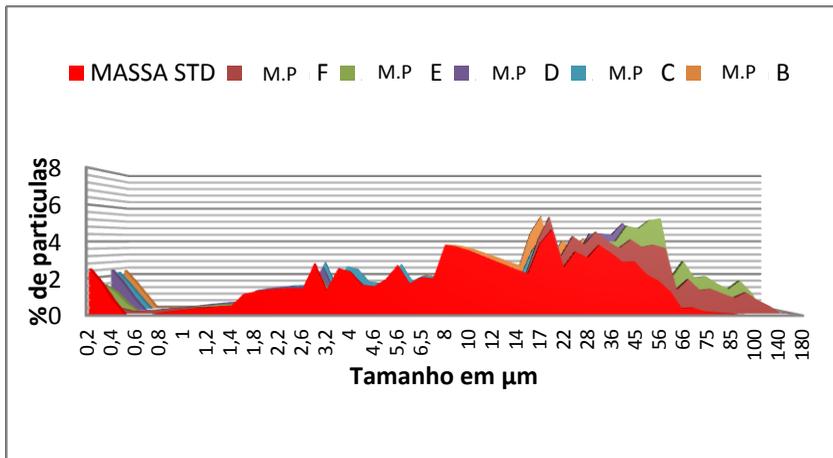


Fonte: Do Autor, 2016.

O gráfico 2 apresenta uma necessidade de redução do tamanho das partículas. É importante tal conhecimento, para o uso correto do tipo de equipamento a ser utilizado em uma eficiente moagem.

O gráfico 3 apresenta a distribuição de tamanho de partículas (DTP) da suspensão de monoporosa após moagem (STD) e de todas as matérias-primas antes do processo de moagem; os dados foram obtidos da análise de tamanho de partículas de cada matéria prima, bem como da massa já atomizada.

Gráfico 3 - Distribuição do tamanho de partículas comparativa entre suspensão de monoporosa STD e as matérias primas da composição



Fonte: Do Autor (2015).

O gráfico 3 apresenta a análise da distribuição de tamanho das partículas das matérias-primas utilizadas na composição de monoporosa, realizada pela técnica de difração a laser, mostrando a necessidade de moagem destas matérias-primas, conforme tabela 5, apresenta comparativo da distribuição de partículas em porcentagem a cada 25 (μm) micrometros da massa STD (após a moagem) e a composição antes do processo de moagem.

Tabela 6 - Distribuição de tamanho das partículas da massa STD comparativo com a formulação (anterior ao processo de moagem) em intervalos de 25 μm

PARTÍCULAS		STD	FORMULAÇÃO	DIF.
0,2 a 25	Mm	77,46%	60,28%	17,18%
26 a 50	Mm	18,26%	23,58%	-5,32%
51 a 75	Mm	4,06%	11,96%	-7,90%
75 a 100	Mm	0,22%	3,65%	-3,43%
>100	Mm	0,00%	0,53%	-0,53%

Fonte: Do autor (2016).

Na tabela 6, os percentuais dos tamanhos das partículas até 25 μm da massa STD é superior ao apresentado pela linha da formulação da massa antes do processo de moagem em 17,18%. Observando-se as linhas posteriores de 26 a 50 μm uma redução de 22,56%, de 51 a 75 μm uma redução de 66,06% , de 76 a 100 μm 93,97% e maiores que 100 μm a redução é de 100%.

4.1.2 Análises Químicas dos materiais (FRX)

A análise de fluorescência de raio X apresenta os elementos químicos existentes em cada matéria prima componente da massa em estudo e efluente, conforme tabela 7.

Tabela 7 - Análises químicas das matérias primas individuais

Análise Química							
Compostos	Formulação	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E	Amostra F	Efluente
SiO_2	61,70%	63,47%	51,98%	73,73%	76,73%	7,29%	58,38%
Al_2O_3	13,09%	3,14%	26,83%	15,41%	14,37%	1,71%	12,80%
Fe_2O_3	1,68%	2,07%	1,16%	2,08%	1,67%	0,83%	1,66%
CaO	7,58%	2,04%	6,98%	0,16%	0,08%	48,58%	8,74%
K_2O	1,18%	0,16%	0,73%	2,16%	1,11%	0,56%	1,92%
MgO	3,90%	23,13%	0,84%	0,84%	0,33%	1,51%	2,97%
Na_2O	0,53%	0,00%	2,89%	0,33%	0,19%	0,00%	0,14%
MnO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
P_2O_5	0,05%	0,00%	0,08%	0,05%	0,07%	0,06%	0,13%
TiO_2	0,45%	0,22%	0,13%	0,52%	0,77%	0,14%	1,33%
SrO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%
ZnO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,85%
ZrO_2	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,24%
P.F.	9,89%	5,86%	8,56%	4,74%	4,73%	39,32%	8,72%

Fonte: Do autor com dados internos da Colorminas (20015-2016).

O conhecimento dos percentuais existentes de cada elemento químico na composição possibilita medi-los, monitora-los de acordo com a necessidade e entendimento.

No processo cerâmico, o monitoramento de elementos como Sílica livre, Potássio, Óxido de Cálcio, sódio, são fundamentais para o processo; no que diz respeito a moagem o percentual de sílica é importante também para previa compreensão do corpo moedor necessário, como também a necessidade de um parâmetro ideal de cominuição, o completo entendimento, será observado através da análise mineralógica em DRX, na qual será definido a formação mineralógica identificando assim as durezas de cada formação .

Os elementos destacados na tabela 7, são componentes do efluente utilizado como fração líquida do processo de moagem de massa, provenientes dos resíduos de lavação das linhas de esmaltação. Tais elementos não são previamente tratados, somente depositados em um tanque em agitação.

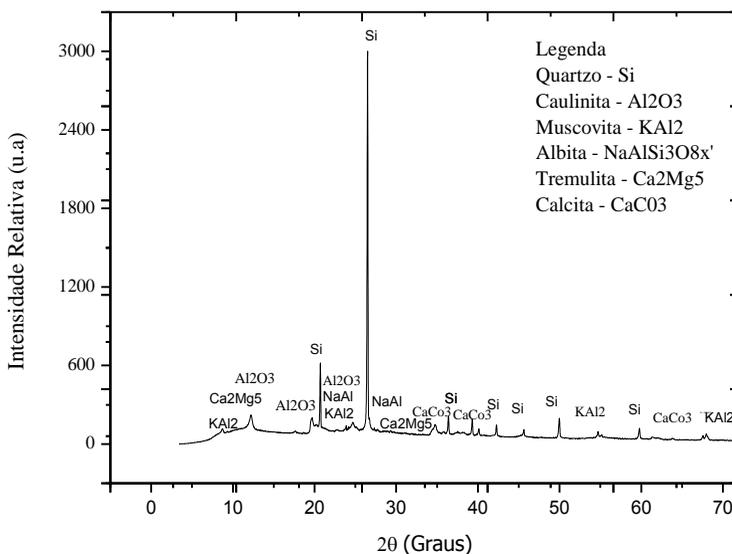
Os demais elementos encontrados na análise química do efluente, fazem parte do sistema de lavação de gases do processo de atomização, os quais também são depositados no mesmo tanque sem prévio tratamento.

A análise química do efluente nos possibilita observar se seus elementos químicos poderão interferir na viscosidade da barbotina, consequentemente na eficiência do processo de moagem.

4.1.3 Análise Mineralógica dos materiais (DRX)

A figura 16 apresenta a análise mineralógica da massa de monoporosa em estudo, identificando as formações minerais encontradas (massa STD):

Figura 16 - Análise mineralógica da massa de monoporosa STD



Fonte: Do autor com dados internos da Colorminas (2015).

Após a identificação das formações minerais existentes na composição, é possível estimar algumas características, como densidade relativa e dureza, importantes para o processo de moagem. Os dados da tabela 8 referentes a composição, dureza e densidade relativa, foram obtidos no banco de dados da UNESP(UNESP, [201-]).

Tabela 8 - Componentes minerais identificados na massa em estudo

Mineral	Fórmula Química	Composição	Dureza (mohs)	Densidade relativa (g/cm ³)
Quartzo	SiO ₂	46.74 % Si, 53.26 % O	7	2,65
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	39,5% Al ₂ O ₃ ; 46,5% SiO ₂ ; 14,0% H ₂ O.	2 – 2,5	2,6 – 2,63
Muscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH,F) ₂	11,82 % K ₂ O; 38,38 % Al ₂ O ₃ ; 45,23 % SiO ₂ ; 4,29 % H ₂ O .	2 – 2,5	2,76 – 3,10
Calcita	CaCO ₃	53,0% CaO ; 44,0% CO ₂	3	2,72
Talco	Mg ₃ (Si ₈ O ₂₀) (OH) ₄	Silicato de magnésio	1	2,7 – 2,8
Albita	(Na _{1-0,9} ,Ca _{0-0,1})Al(Al _{0-0,1} ,Si _{1-0,9})Si ₂ O ₈	11.19 % Na ₂ O, 1.07 % CaO, 20.35 % Al ₂ O ₃ , 67.39 % SiO ₂	6 – 6,5	2,63
Montmorilona	(Mg, Ca)O.Al ₂ O ₃ Si ₅ O ₁₀ .nH ₂ O	Silicato de alumínio, magnésio e cálcio hidratado	1-2	2 – 2,7
Tremulita	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (O) ₂	13,81 % CaO, 24,81 % MgO, 59,17 % SiO ₂ , 2,22 % H ₂ O	5 – 6	2,9 – 3,2

Fonte: Adaptado de UNESP,[201-].

Através do conhecimento da constituição mineralógica existente no material a ser moído, pode-se identificar a dureza de cada mineral, conseqüentemente a utilização do corpo moedor correto; visto que o uso de corpo moedor e revestimentos não compatíveis com a dureza do material, será comprometido o processo quanto ao tempo de moagem, desgaste de bolas e revestimentos, como também a contaminação do material com resíduos do corpo moedor e revestimento.

4.1.4 Consumo de Energia em moinho tipo Alsing com e sem inversor de frequência

De acordo com a sequência dos estudos, está proposto a identificação do consumo de energia elétrica em um moinho com e sem inversor de frequência.

O resultado do estudo sobre o consumo de energia elétrica durante a moagem com equipamento (medidor RE 6000 Embrasul), conectado ao moinho antes e após a instalação de um inversor de frequência apresenta na tabela 9, tal consumo de energia elétrica em um moinho de 12.000 litros, com a variação da rotação entre 15 e 20 rpm.

Tabela 9 - Primeiro teste do consumo de energia elétrica durante a moagem, com e sem inversor de frequência.

Teste	Consumo, kWh	Inversor	Rotação, rpm	Consumo médio/h, kWh	Tempo de moagem
01	101,934	Sim	16	15,68	6:30
02	178,060	Sim	20	20,95	8:30
03	159,489	Sim	18	19,94	8:00
04	156,738	Sim	15	15,94	9:50
05	121,369	Não	16	18,67	6:30

Fonte: Do Autor (2016).

Analisando os resultados da tabela 9, percebe-se que o moinho equipado com inversor reduz em aproximadamente 16% o consumo de energia no processo de moagem via úmida por batelada. Por exemplo, em moinho com inversor operando a 16 rpm, o custo médio da moagem é de R\$ 9,09/hora, levando-se em consideração a moagem nos períodos de máxima e mínima demanda de energia (fator de potência). Em contrapartida, para moinho sem inversor operando a 16 rpm o custo médio da moagem é de R\$ 10,83/hora.

4.1.6 Resultados Reológicos da barbotina

Os resultados apresentados na tabela 10, demonstra o percentual de silicato de sódio utilizado na formulação e suas variante apresentada pela medição do tempo de escoamento como parâmetro de viscosidade da barbotina em segundos de acordo com o percentual adicionado de defloculante, determinando-se assim sua curva de defloculação, conforme gráfico 4.

Determinação da curva de defloculação
 Densidade Barbotina (g/cm³) 1,660
 Amostras Massa STD

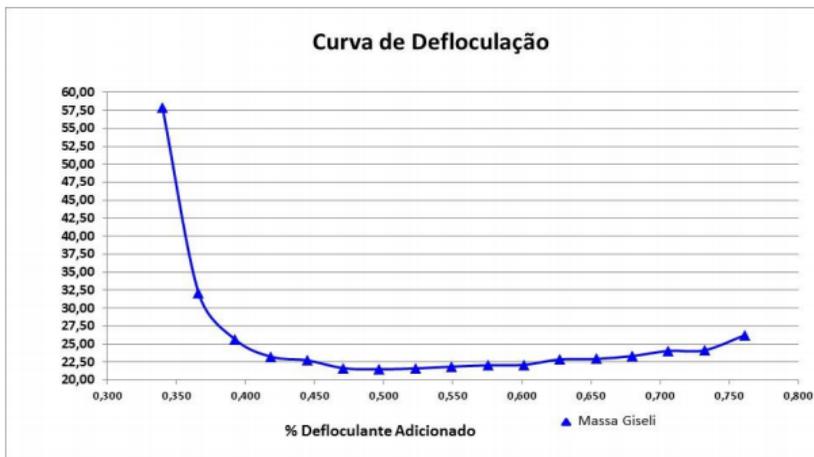
4.1.6.1 Análise do tempo de escoamento em equipamento Copo Ford Abertura 4mm.

Tabela 10 - Análise do tempo de escoamento da massa STD, medidos em copo ford

% silicato	Tempo de Escoamento (s)	% silicato	Tempo de Escoamento (s)	% silicato	Tempo de Escoamento (s)
0,340	57:84	0,497	21:50	0,654	22:94
0,366	32:07	0,523	21:62	0,680	23:35
0,392	25:69	0,549	21:87	0,706	24:06
0,418	23:25	0,575	22:06	0,732	24:15
0,445	22:75	0,601	22:12	0,761	26:22
0,471	21:66	0,628	22:88		

Fonte: Do autor com dados internos da Safira (2016).

Gráfico 4 - Apresenta curva de defloculação em Copo Ford, conforme resultados da tabela 10



Fonte: Do autor com dados internos da Safira (2016).

Os resultados obtidos na curva de defloculação realizada através do método de medição do tempo de escoamento em copo Ford abertura nº 4, fora identificado o menor tempo em 0,49% do uso de silicato de sódio para formulação. O uso desse percentual levará a viscosidade da barbotina em seu nível mais baixo, facilitando o processo de moagem, porém não necessariamente o menor nível de viscosidade para a moagem é o melhor para o processo cerâmico. A viscosidade da barbotina pode influenciar no processo seguinte de atomização na distribuição granulométrica do pó atomizado e conseqüentemente poderá interferir no processo de conformação, com isso comprometendo todos os processos subsequentes.

4.1.6.2 Análise de viscosidade em equipamento brookfield

Os resultados obtidos na tabela 11, representam análise realizada em viscosímetro brookfield, com objetivo comparativo ao método realizado nas cerâmicas através de copo Ford. Os resultados foram os seguintes:

Tabela 11 - Análise de viscosidade da massa STD, medidos em viscosímetro Brookfield

% silicato	CP(s)	% silicato	CP(s)	% silicato	CP(s)	% silicato	CP(s)
0,190	1755,0	0,310	145,5	0,420	120,5	0,590	138,5
0,210	364,9	0,330	139,5	0,440	120,0	0,620	143,0
0,240	262,4	0,350	134,5	0,460	122,0	0,700	170,5
0,260	194,5	0,370	129,5	0,480	123,0		
0,280	176,0	0,390	125,5	0,510	129,0		
0,300	162,5	0,410	122,0	0,550	131,0		

Fonte: Do autor com dados internos da Safira (2016).

Gráfico 5 - Curva de defloculação em viscosímetro Brookfield



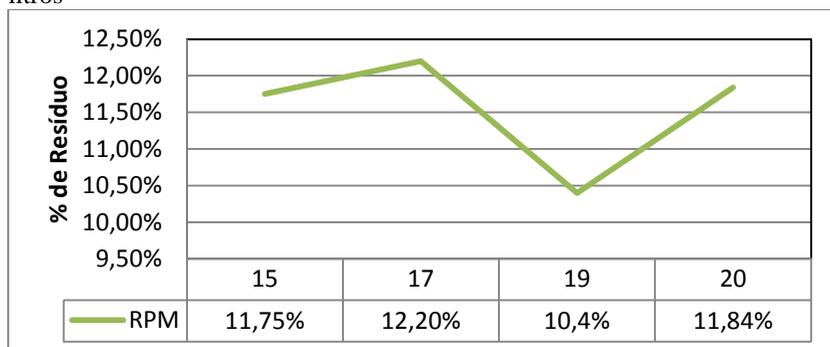
Fonte: Do autor com dados internos da Safira (2016).

Os resultados apresentados na curva de defloculação pelo viscosímetro Brookfield, aponta a menor resultado de CPs em 0,44% do uso de silicato. Os dados obtidos nos dois métodos apresentam resultados similares em análise gráfica, sendo que os resultados de escoamento em segundos, não necessariamente representados na mesma unidade de medida, por se tratar de resultados particulares de cada método.

4.1.7 Análise do efeito da rotação do moinho (RPM)

Os resultados apresentados no gráfico 6 e 7 são referentes aos pré-testes de moagem com tempo de 9 horas para cada rotação, sendo analisado o resíduo final de cada moagem para um moinho com volume interno de 148 litros, sendo a rotação 19 (rpm) o melhor resultado apresentado.

Gráfico 6 - Moagem com tempo determinado de 9 horas em moinho de 148 litros

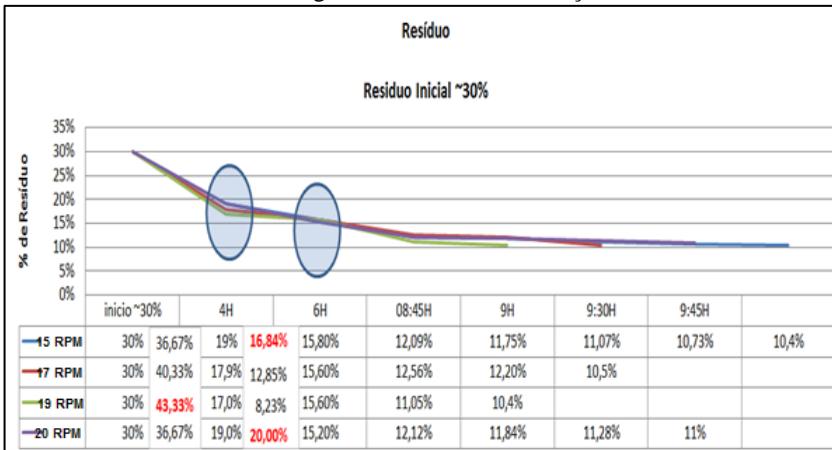


Fonte: Do Autor (2015).

O gráfico 7 apresenta os resultados para resíduo de moagem em tempos iguais para cada rotação, em um moinho com volume interno de 148 litros, variando-se as rotações entre 15 – 20 rpm. Os resultados obtidos nos pré testes apresentaram relevante diferença nas primeiras 4 horas em cada rotação.

Ao observar o gráfico 7 é possível ver a influência significativa na 4ª hora de moagem em detrimento a rotação, porém essa diferença se perde entre a 4ª e 6ª hora.

Gráfico 7 - Pré-testes de moagem com diferentes rotações



Fonte: Do Autor (2015).

4.1.7.1 Reavaliação dos parâmetros de rotação para moinho de 148 litros

Para uma reavaliação da rotação ideal apresentados nos gráficos 6 e 7 com objetivo de definição de um planejamento experimental, foram realizados mais testes para tomada de decisão, apresentados na tabela 12.

É importante evidenciar que para os testes tabulados na tabela 12 foram somente alteradas a rotação de cada teste, buscando manter os demais fatores inalterados.

Tabela 12 - Reavaliação dos testes iniciais de rotação (RPM)

TESTES DE MOAGEM																	
ROTAÇÃO CENTRIFUGA		55,44 RPM															
TESTE	RPM	RPM		4ª HORA				6ª HORA			8ª HORA			10ª HORA			
% RC		DUPLA CARREGAMENTO	ÁGUA LIMPA EFFLUENTE	DEFLOCULANTE	VISCOSIDADE	DENSIDADE	RESÍDUO										
27%	15	100	1,05	0,890%	25	1,603	18,50%	27	1,608	14,50%	28	1,61	11,60%	30	1,61	9,70%	
31%	17	100	1,05	0,890%	30	1,631	19,70%	33	1,637	16,00%	35	1,631	12,20%	35	1,631	10,40%	
34%	19	100	1,05	0,890%	27	1,628	19,30%	30	1,628	14,00%	33	1,628	9,40%	35	1,628	8,00%	
36%	20	100	1,05	0,890%	20	1,618	18,50%	25	1,615	16,00%	25	1,612	13,50%	25	1,614	10,10%	
60%	33	100	1,05	0,890%	30	1,649	21,50%	32	1,65	15,70%	35	1,658	12,00%	38	1,658	10,40%	

Fonte: Do Autor (2016).

Os parâmetros utilizados na tabela 12 quanto ao percentual de rotação centrífuga(RC) estão menores(<) e igual(=) a menor rotação apresentados na literatura(LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010), porém em nenhum momento os resultados obtidos devem ser usados para questionamento, visto que a literatura apresenta respostas claras quanto a alteração dos resultados na presença de fração argilosa.

Para melhor visualizar os resultados apresentados na tabela 12, estão apresentados na tabela 13 os resultados de redução em cada intervalo de tempo, necessários para o planejamento experimental fatorial.

Nos testes realizados em moinho de 148 litros tipo alsing, obteve-se resultados, os quais foram considerados relevantes a decisão de utiliza-los em um planejamento experimental.

Para uma melhor visualização dos resultados tabulados na tabela 12 estão apresentados na tabela 13 os resultados obtidos de acordo com a eficiência de cada rotação.

A tabela 13 apresenta um resumo dos resultados de moagem comparativos entre os períodos, com diferentes rotações.

Tabela 13 - Resultados de moagem comparativa entre diferentes rotações em moinho de 148 litros

RPM	EFICIÊNCIA DE MOAGEM			
	4ª HORA	4ª e 6ª HORA	6ª e 8ª HORA	8ª e 10ª hora
15	-7,50%	-4,00%	-2,90%	-1,90%
17	-6,30%	-3,70%	-3,80%	-1,80%
19	-6,70%	-5,30%	-4,60%	-1,40%
20	-7,50%	-2,50%	-2,50%	-3,40%
33	-4,50%	-5,80%	-3,70%	-1,60%

Fonte: Do Autor (2016).

Os resultados tabulados na tabela 13 apresentam um desempenho de redução do resíduo em 15 RPM na quarta hora(4ª) de -7,50% em comparativo com o resíduo inicial. O mesmo resultado foi apresentado na rotação de 20 RPM, porém seu desempenho na sexta(6ª) não fora significativo, sendo o melhor resultado em 15 RPM. Portanto como parâmetro mínimo para estudo de rotação fora considerado 15 RPM.

Os resultados finais demonstraram o melhor desempenho na rotação em 19 RPM , porém essa rotação nas primeiras 4 horas teve seu desempenho inferior a rotação de 15 RPM, tais resultados corroboraram para a definição de rotação mínima e máxima do planejamento experimental.

Os resultados apresentados na tabela 13 confirmam a rotação mínima e máxima de 15-19 RPM.

4.2 RESULTADOS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os parâmetros de análise estatística considerados neste estudo foram: $R^2 \sim 1$ e $p \leq 0,05$ (significando um índice de confiabilidade de 95%). As variáveis de entrada, ou fatores, deste estudo sobre moagem foram a rotação do moinho, seu carregamento e o uso de água/efluentes.

Estes fatores foram analisados isoladamente, bem como a interação entre eles. A tabela 14 mostra o planejamento experimental utilizado, seus fatores e também os resultados obtidos para o resíduo de moagem na 4ª, 6ª, 8ª e 10ª hora. Foi utilizado um planejamento experimental tipo fatorial completo 2^K com 4 pontos centrais, sendo k o nº de fatores, variados no experimento a 2 níveis (máximo e mínimo ou + e -). Os pontos centrais representam o valor médio, intermediário de cada fator, sendo utilizados para determinar a interação entre os fatores.

Nas seções seguintes é realizada a análise estatística do resíduo de moagem para 4ª, 6ª, 8ª e 10ª hora, sendo apresentada a ANOVA, gráfico de Pareto e superfície de resposta para cada resultado obtido.

Tabela 14 - Resultados de moagens obtidos em um planejamento experimental $2^{kk}+4$ pontos centrais

TESTES	PLANEJAMENTO DOS FATORES				ROTAÇÃO			RESÍDUO 4ª HORA		RESÍDUO 6ª HORA		RESÍDUO 8ª HORA		RESÍDUO 10ª HORA		DENSIDADE
					15	70	1	17,00%	14,80%	12,70%	10,50%	1,64				
2	1	-1,00000	-1,00000	1,00000	15	70	1,05	18,40%	18,20%	14,80%	13,80%	1,66				
3	1	-1,00000	1,00000	-1,00000	15	100	1	19,10%	17,10%	15,40%	11,30%	1,62				
4	1	-1,00000	1,00000	1,00000	15	100	1,05	20,50%	15,80%	13,10%	12,00%	1,64				
5	1	1,00000	-1,00000	-1,00000	19	70	1	14,60%	13,00%	10,60%	7,50%	1,62				
6	1	1,00000	-1,00000	1,00000	19	70	1,05	18,80%	16,60%	13,20%	10,80%	1,66				
7	1	1,00000	1,00000	-1,00000	19	100	1	17,80%	12,20%	9,80%	8,00%	1,63				
8	1	1,00000	1,00000	1,00000	19	100	1,05	19,30%	14,00%	9,40%	8,00%	1,63				
9	0	0,00000	-1,00000	-1,00000	17	70	1	16,00%	13,60%	11,20%	10,00%	1,64				
10	0	0,00000	-1,00000	1,00000	17	70	1,05	19,00%	18,60%	14,00%	10,80%	1,62				
11	0	0,00000	1,00000	-1,00000	17	100	1	20,20%	15,70%	12,40%	10,60%	1,65				
12	0	0,00000	1,00000	1,00000	17	100	1,05	19,70%	16,00%	12,20%	10,40%	1,63				

Fonte: Do Autor (2016).

4.2.1 Resultados na 4ª hora

Os dados tabulados da tabela 14, foram calculados estatisticamente com objetivo de obter resultados que possam identificar o grau de influência de cada fator; a tabela 15 apresenta na 4ª hora os seguintes resultados:

Tabela 15 - Resultados de resíduos na 4ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.

Efeitos Estimados; Var.:RESÍDUO 4ª HORA; R²=0,90754; Adj. 79658 (PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 15 08 2016) 2**(3-0) design; MS Residual=,0000623 DV: RESÍDUO 4ª HORA										
Fatores	Effect	Std Err.	t(5)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std Err. Coef	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,183667	0,002278	80,63475	0,000000	0,177811	0,189522	0,183667	0,002278	0,177811	0,189522
(1)ROTAÇÃO	-0,011250	0,005579	-2,01636	0,099832	-0,025592	0,003092	-0,005625	0,002790	-0,012796	0,001546
(2)CARREGAMENTO	0,021333	0,004556	4,68296	0,005419	0,009623	0,033044	0,010667	0,002278	0,004811	0,016522
(3)AGUA / EFLUENTE	0,018333	0,004556	4,02442	0,010077	0,006623	0,030044	0,009167	0,002278	0,003311	0,015022
1 by 2	-0,001250	0,005579	-0,22404	0,831593	-0,015592	0,013092	-0,000625	0,002790	-0,007796	0,006546
1 by 3	0,007250	0,005579	1,29943	0,250480	-0,007092	0,021592	0,003625	0,002790	-0,003546	0,010796
2 by 3	-0,010333	0,004556	-2,26831	0,072592	-0,022044	0,001377	-0,005167	0,002278	-0,011022	0,000689

Fonte: Do Autor (2016).

Na 4ª hora de moagem os resultados que mais se destacaram foram:

- Agua/Efluente: O resultado de $p < 0,05$, com índice de confiabilidade de 95% evidenciando um resultado de 1,8333%(+) no aumento do resíduo, comparativo entre moagens com agua limpa e efluentes.

- Carregamento: Com $p < 0,05$, índice de confiabilidade de 95%, apresenta um aumento de 2,1333%(+) quanto ao carregamento parcial(sem talco) e o carregamento total.

- Rotação: O resultado de rotação obteve um $p=0,09$, o qual seu resultado não poderá ser considerado com índice de confiabilidade de 95%, porém observando os resultados podemos identificar sua relevância com uma redução de -1,125% de redução (-), comparativo entre as rotações mínima e máxima.

Os resultados de interação entre os fatores não obtiveram resultados relevantes a serem justificados, ou seja suas interações na 4ª hora não apresentam resultados relevantes de acordo com a estatística.

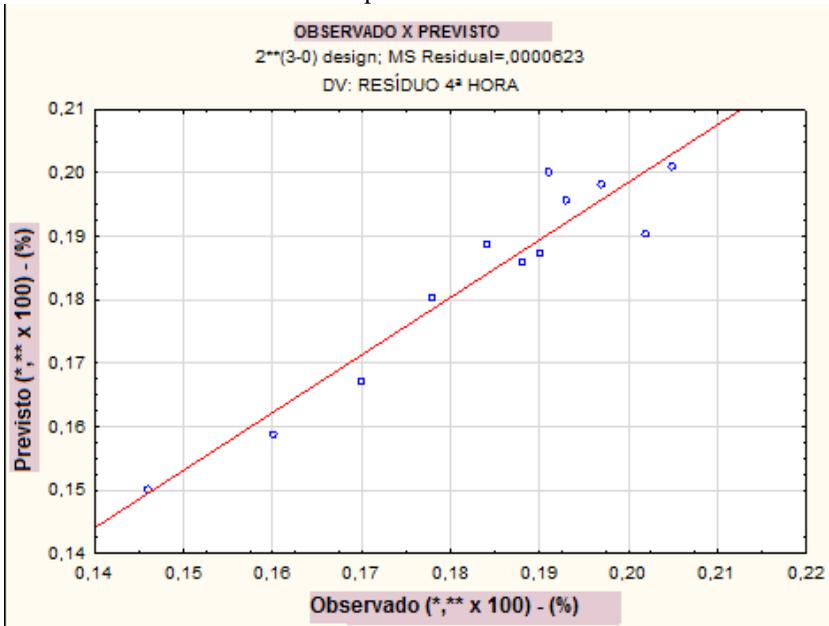
4.2.1.1 Ajuste do modelo para a 4ª hora de moagem

O gráfico 8 apresenta os resultados estatísticos, comparativos entre resultados de resíduos previstos e realizados em regressão linear.

O R^2 é 0,91 e o R^2_{ajustado} é 0,80. Para um coeficiente de correlação R^2 onde $0,90 < R^2 \leq 0,99$, a correlação é considerada fortíssima. Para o coeficiente ajustado R^2_{ajustado} onde $0,49 < R^2_{\text{ajustado}} \leq 0,81$, a correlação é considerada forte.

O valor de R^2 mede a variabilidade da função linear nas várias observações efetuadas para a variável y , neste caso o resíduo de moagem, por meio da equação de regressão pelas variáveis x_1, x_2, \dots, x_k . Não se pode afirmar que o R^2 significa obrigatoriamente que o modelo de regressão seja considerado bom. O coeficiente ajustado R^2_{ajustado} sempre adiciona uma variável ao modelo, o que resulta em $R^2_{\text{ajustado}} < R^2$. A adição de uma variável ao modelo sempre irá promover uma mudança no valor de R^2 , independente de sua proximidade ou não do modelo proposto, do ponto de vista estatístico.

Gráfico 8 - Gráfico dos Resíduos previstos x realizados na 4ª hora



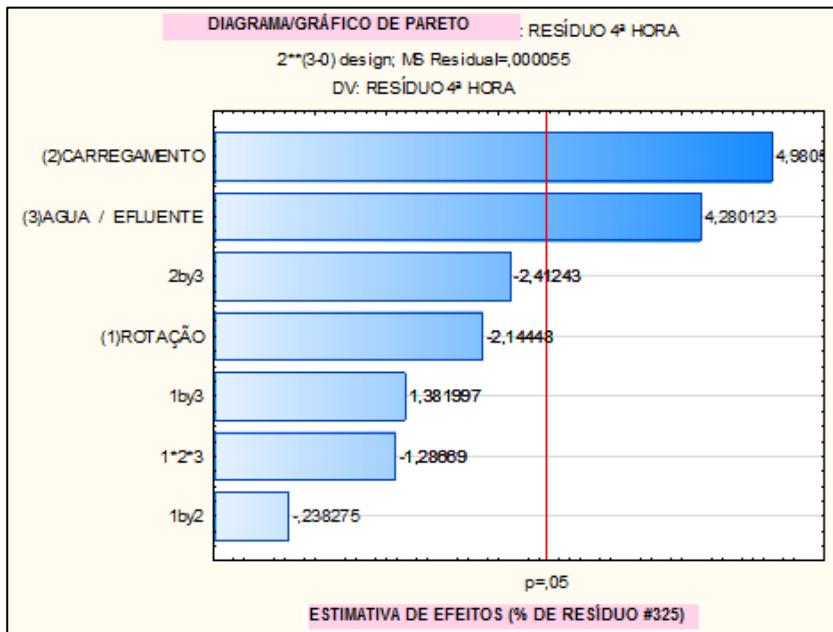
Fonte: Do Autor (2016).

Observando os resultados do gráfico 8, pode-se afirmar que o modelo está dentro do esperado, com leves desvios, porém mantendo sua linearidade entre o previsto e o observado.

4.2.1.2 Diagrama ou Gráfico de Pareto na 4ª hora de moagem

O gráfico 9 apresenta o diagrama de Pareto para a 4ª hora de moagem. Pode-se perceber que, com 95% de confiabilidade, os fatores carregamento do moinho e uso de água ou efluentes são os que influenciaram no resíduo de moagem. Tanto a rotação do moinho quanto as interações entre os fatores principais não apresentam significância estatística a 95%.

Gráfico 9 - Diagrama de Pareto apresentado na 4ª hora de moagem em moinho de 148 litros



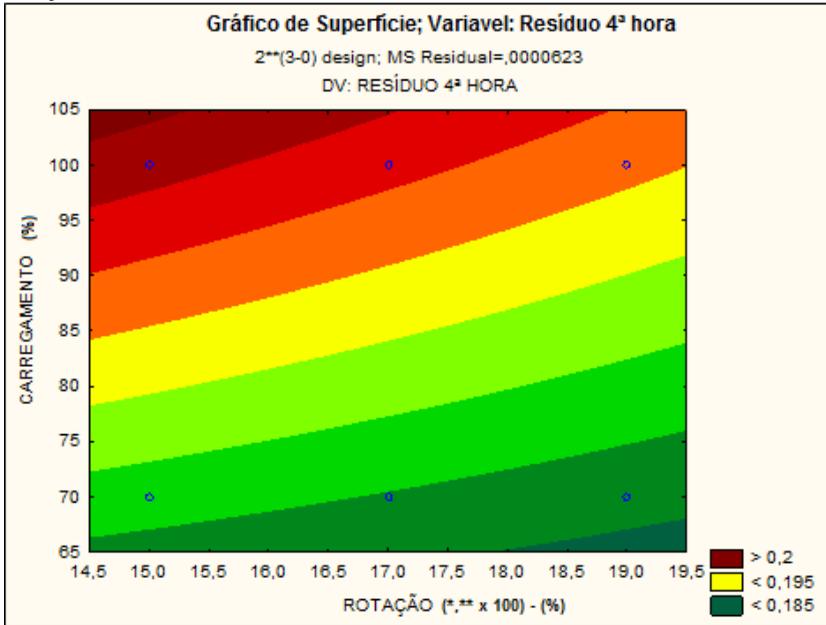
Fonte: Do Autor (2016).

Os resultados apresentados no gráfico 9 confirmam os valores demonstrados na tabela 14. Sua projeção apresenta uma linha transversal aos resultados de cada fator indicando $p < 0,05$, demonstrando estatisticamente os possíveis resultados com índice de confiança $> 95\%$ como carregamento e água/efluentes pode-se observar elevada influência nos resultados na 4ª hora de moagem.

4.2.1.3 Gráfico de superfície de resposta na 4ª Hora de moagem

O gráfico 10, apresenta os resultados de resíduos de acordo com a variação do carregamento e rotação.

Gráfico 10 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 4ª hora de moinho em moinho de 148 litros



Fonte: Do Autor (2016).

De acordo com o gráfico 10, pode-se observar que o carregamento menor possui um resultado de resíduo consequentemente menor, esse resultado é influenciado pela presença maior de efluentes (água), porém esse resultado não está paralelamente apresentado, sendo visível a influência da rotação em melhores resultados de resíduo.

4.2.2 Resultados na 6ª hora

Dados tabulados na 6ª hora apresentaram resultados favoráveis individuais como também em interações entre os fatores, conforme tabela 16:

Tabela 16 - Resultados de resíduos na 6ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.

Effect Estimates: Var.:RESÍDUO 6ª HORA; R² =,94247; Adj.:84179 (PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 15 08 2** (3-0) design; MS Residual=,000064 DV: RESÍDUO 6ª HORA										
Factor	Effect	Std. Err.	t(4)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std. Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,15466	0,00231	66,9508	0,00000	0,14825	0,16108	0,15466	0,00231	0,14825	0,16108
(1)ROTAÇÃO	-0,02525	0,00565	-4,4621	0,01114	-0,04098	-0,00953	-0,01262	0,00282	-0,02048	-0,00478
(2)CARREGAMENTO	-0,00866	0,00462	-1,4429	0,22252	-0,01949	0,00616	-0,00333	0,00231	-0,00974	0,00308
(3)AGUA / EFLUENTE	0,02133	0,00462	4,6173	0,00990	0,00850	0,03416	0,01068	0,00231	0,00425	0,01708
1 by 2	-0,00825	0,00565	-1,4579	0,21880	-0,02398	0,00748	-0,00412	0,00282	-0,01198	0,00373
1 by 3	0,00825	0,00565	1,4579	0,21880	-0,00748	0,02396	0,00412	0,00282	-0,00373	0,01198
2 by 3	-0,01866	0,00462	-4,0401	0,01560	-0,03149	-0,00583	-0,00933	0,00231	-0,01574	-0,00291
1*2*3	0,00725	0,00565	1,2812	0,28935	-0,00846	0,02296	0,00362	0,00282	-0,00423	0,01148

Fonte: Do Autor (2016).

Os fatores de rotação, carregamento e água/efluentes, com suas interações apresentaram os seguintes resultados na 6 hora:

- Rotação: O resultado de $p=0,01$, $R^2=0,942$, apresenta os requisitos, pelos quais atendem aos índice de confiança de 95%, apresentando um resultado de redução do percentual de resíduo de 2,525%.

- Carregamento: Os resultados de $p>0,05$, fazem com que sejam desconsiderados os resultados de carregamento na 6ª hora, tornando-o irrelevantes.

- Água/Efluente: Com resultado de $p= 0,008$, apresenta índice de confiabilidade de 95%, onde o uso de efluente aumenta o percentual de resíduo em 2,133%.É importante evidenciar que na utilização de efluente, aumenta aproximadamente 5% de sólidos em comparação com o uso de água limpa.

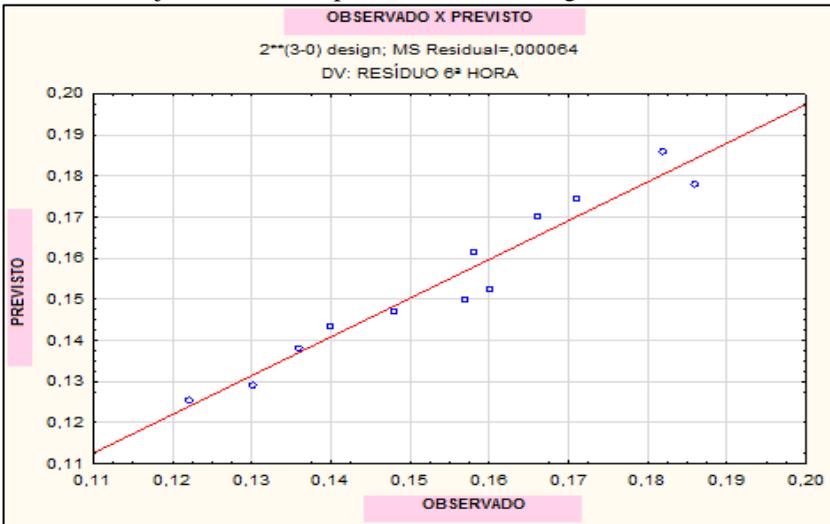
Na interação entre os fatores pode-se considerar relevante o resultado entre carregamento e água/efluente, com resultado de $p=0,00156$, prospectando uma redução de 1,866% no resíduo. As demais interações obtiveram resultados de $p>0,05$, tornando irrelevantes.

4.2.2.1 Ajuste do modelo para a 6ª hora de moagem

O gráfico 11 apresenta o ajuste do modelo, por regressão linear, para o resíduo de moagem na 6ª hora, mostrando os valores observados e os valores previstos. O R^2 é 0,94 e o $R^2_{ajustado}$ é 0,84. Para um coeficiente de correlação R^2 onde $0,90 < R^2 \leq 0,99$, a correlação é considerada fortíssima. Para o coeficiente ajustado $R^2_{ajustado}$ onde $0,81 < R^2_{ajustado} \leq 0,98$ a correlação também é considerada fortíssima. Quando $R^2 = 1$ e $0,98 < R^2_{ajustado} \leq 1,0$ a correlação é perfeita.

Desta forma, o modelo de regressão linear para a 6ª hora de moagem é muito bom, com correlação fortíssima entre os valores previstos e observados, gráfico 11.

Gráfico 11 - Ajuste do modelo para a 6ª hora de moagem



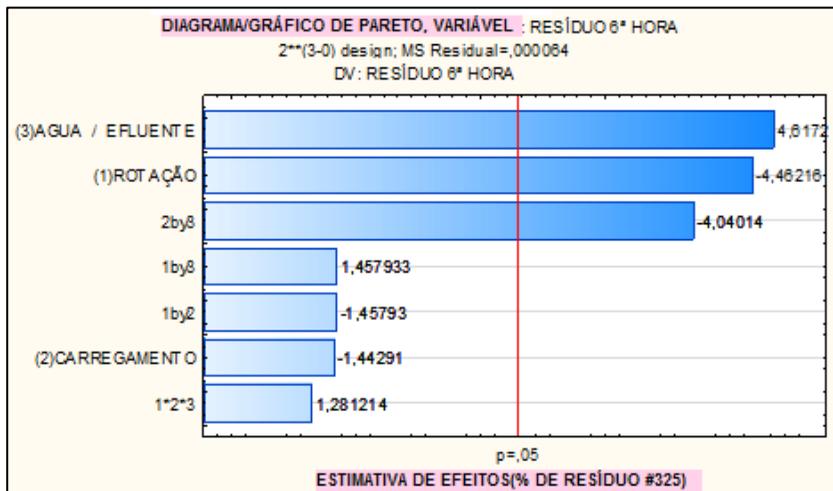
Fonte: Do Autor (2016).

Observando os resultados do gráfico 11, pode-se afirmar que o modelo está dentro do esperado, mantendo sua linearidade entre o previsto e o observado.

4.2.2.2 Diagrama ou Gráfico de Pareto na 6ª hora de moagem

O gráfico 12 apresenta o diagrama de Pareto para a 6ª hora de moagem. Pode-se perceber que, com 95% de confiabilidade, os fatores rotação do moinho e uso de água ou efluentes são os fatores que influenciaram no resíduo de moagem, bem como a interação entre o carregamento do moinho e o uso de água ou efluente. O carregamento do moinho isoladamente e as interações entre rotação × carregamento e rotação × água/efluente não apresentam significância estatística a 95%.

Gráfico 12 - Diagrama de Pareto apresentado na 6ª hora de moagem em moinho de 148 litros



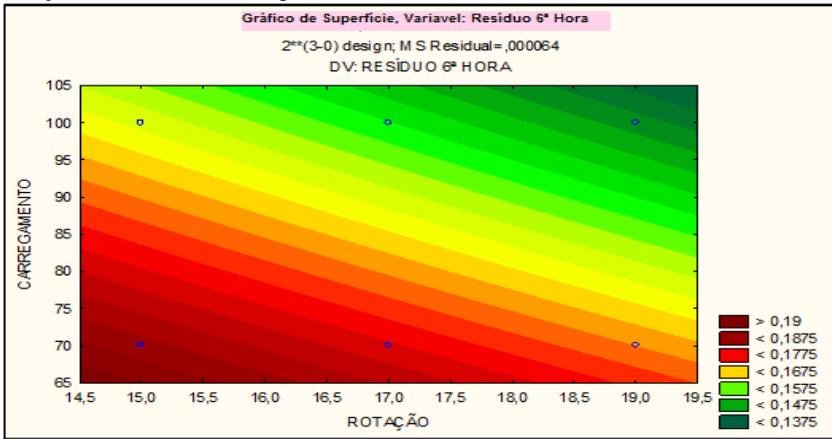
Fonte: Do Autor (2016).

Na 6ª hora de moagem é possível observar a relevância da interação de mais dois fatores(carregamento e agua/efluente) com um possível redução de até 4,04% no percentual do resíduo, onde os mesmos na 4ª hora estavam com resultados abaixo do índice de confiança estabelecido pela proposta.

4.2.2.3 Gráfico de superfície de resposta na 6ª Hora de moagem

O gráfico 13 apresenta a superfície de resposta para o resíduo obtido na 6ª h de moagem em função da variação do carregamento e da rotação. Ao contrário do que ocorreu na 4ª hora de moagem, pode-se observar que a combinação entre um maior carregamento e uma maior rotação do moinho tendem a diminuir o resíduo. O gráfico 13 apresenta a variação do resíduo em função dos fatores de estudo, e não o valor nominal do resíduo, ver tabela 14. Desta forma, moagem mais eficiente, com menor resíduo, é obtida com uma maior rotação do moinho e um carregamento deste com maior volume de material sólido.

Gráfico 13 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 6ª hora de moagem em moinho de 148 litros



Fonte: Do Autor (2016).

É relevante observar que o fator rotação tem influência positiva tanto na 4ª como na 6ª hora, sendo um fator de extrema importância ao processo de moagem.

4.2.3 Resultados na 8ª hora de moagem

A tabela 17 apresenta a análise estatística da significância dos fatores principais (rotação do moinho, carregamento e uso de água/efluente) e de suas interações (rotação × carregamento, rotação × água/efluente, carregamento × água/efluente), com intervalo de confiança de 95% ($p \leq 0,05$), para o resíduo de moagem obtido na 8ª hora, em moinho Alsing de 148 L.

Tabela 17 - Significância dos fatores principais e de suas interações para o resíduo de moagem obtido na 8ª hora em moinho Alsing de 148 L.

Estimativa de Efeitos...:RESÍDUO 8ª HORA; R-sq=,98044; Adj.:,9462 (PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 15 08)										
2**(3-0) design; MS Residual=,0000191										
DV: RESÍDUO 8ª HORA										
Factor	Effect	Std.Err.	t(4)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,12400	0,00128	98,329	0,00000	0,12049	0,12750	0,12400	0,00128	0,12049	0,12750
(1)ROTAÇÃO	-0,03250	0,00308	-10,521	0,00048	-0,04107	-0,02392	-0,01625	0,00154	-0,02053	-0,01196
(2)CARREGAMENTO	-0,00700	0,00252	-2,775	0,05005	-0,01400	0,00000	-0,00350	0,00128	-0,00700	0,00000
(3)AGUA / EFLUENTE	0,00768	0,00252	3,039	0,03841	0,00088	0,01468	0,00383	0,00128	0,00033	0,00733
1 by 2	-0,01400	0,00308	-4,532	0,01055	-0,02257	-0,00542	-0,00700	0,00154	-0,01128	-0,00271
1 by 3	0,00800	0,00308	1,942	0,12403	-0,00257	0,01457	0,00300	0,00154	-0,00128	0,00728
2 by 3	-0,01733	0,00252	-6,872	0,00234	-0,02433	-0,01033	-0,00866	0,00128	-0,01216	-0,00516
1*2*3	0,00350	0,00308	1,133	0,32049	-0,00507	0,01207	0,00175	0,00154	-0,00253	0,00603

Fonte: Do Autor (2016).

Na 8ª hora de moagem os resultados obtidos foram:

- Água/Efluente: O uso de água limpa ou de efluentes novamente afeta o resíduo de moagem na 8ª, mas desta vez com um pequeno efeito sobre a variação do resíduo, apenas 0,8% (efeito estimado, tabela 17), com confiabilidade dos resultados de 96%.

- Carregamento: O carregamento afeta a variação do resíduo de moagem na 8ª hora em 0,7%, diminuindo-o, resultado com confiabilidade de 95%.

- Rotação: A rotação do moinho causa uma redução de 3,3% no valor médio estimado para o resíduo após 8 h de moagem, resultado com confiabilidade de 99,9%.

- Interação entre carregamento × água/efluente: A interação entre o carregamento e o uso de água/efluente reduz em 1,7% o resíduo de moagem na 8ª h, com confiabilidade de 99,8% para este resultado.

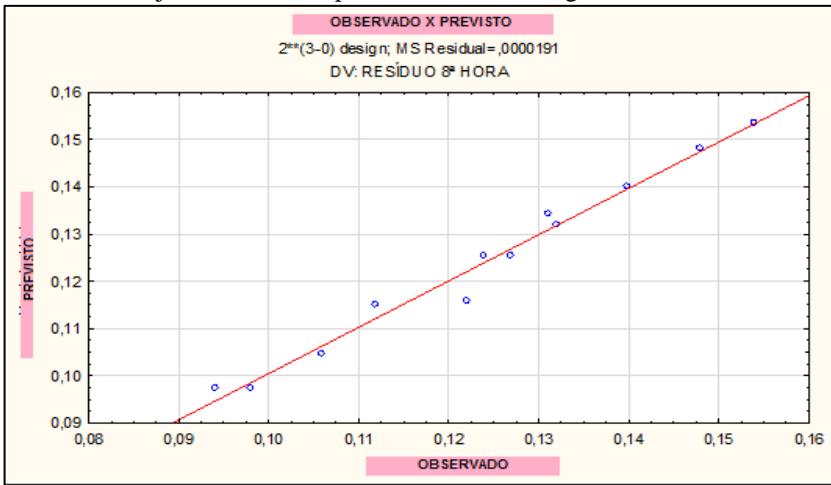
- Interação entre carregamento × rotação: A interação entre o carregamento e a rotação do moinho reduz em 1,4% o resíduo de moagem na 8ª h, com confiabilidade de 99% para o resultado.

Os resultados a rotação do moinho e o uso de água ou efluente não apresentou significância estatística na 8ª hora de moagem.

4.2.3.1 Ajuste do modelo para a 8ª hora de moagem

O gráfico 14 apresenta o ajuste do modelo, por regressão linear, para o resíduo de moagem na 8ª hora, mostrando os valores observados e os valores previsto. O R^2 é 0,98 e o R^2 ajustado é 0,95. Para ambos os coeficientes, R^2 e R^2 ajustado, a correlação é considerada fortíssima. Desta forma, o modelo de regressão linear para a 8ª hora de moagem é muito bom, com correlação fortíssima entre os valores previstos e observados, gráfico 14.

Gráfico 14 - Ajuste do modelo para a 8ª hora de moagem



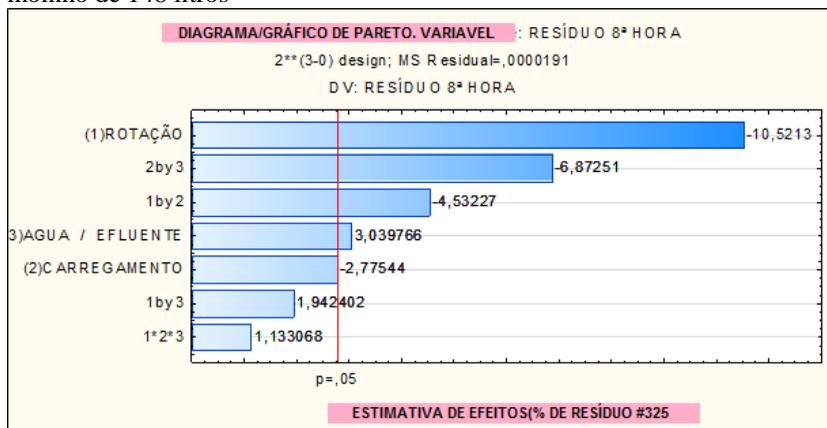
Fonte: Do Autor (2016).

O resultado do gráfico 14, apresenta uma maior linearidade ao modelo na 8ª hora, superior as demais períodos anteriormente apresentados.

4.2.3.2 Diagrama ou Gráfico de Pareto na 8ª hora de moagem

O gráfico 15 apresenta o diagrama de Pareto para a 8ª hora de moagem. Pode-se perceber que, com 95% de confiabilidade, todos os fatores, rotação do moinho, carregamento e uso de água ou efluente, influenciaram no resíduo de moagem, bem como as interações entre o carregamento do moinho e o uso de água ou efluente e entre a rotação do moinho e seu carregamento. Isoladamente, a interação rotação × água/efluente não apresentou significância estatística a 95%, não afetando assim o resíduo de moagem.

Gráfico 15 - Diagrama de Pareto apresentado na 8ª hora de moagem em moinho de 148 litros



Fonte: Do Autor (2016).

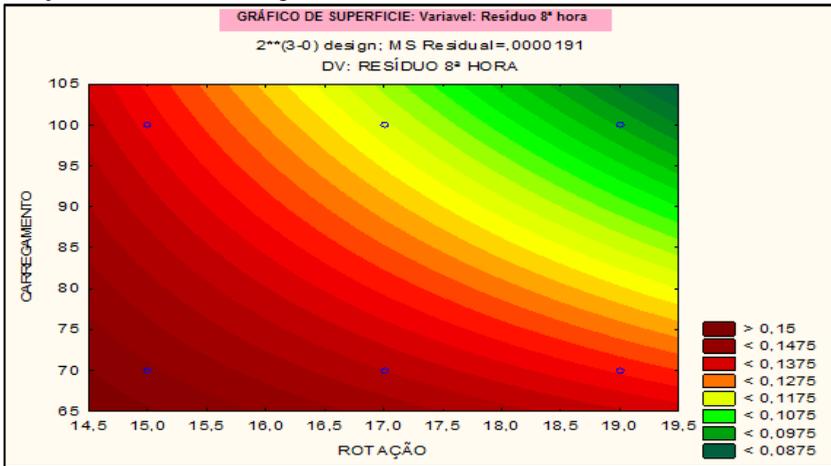
Os resultados do diagrama de pareto na 8ª está dentro do tempo mais utilizado pelos processos cerâmicas, ficando entre a 6ª e a 8ª hora de moagem, sendo nesse período observado a maior interação entre os fatores.

4.2.3.3 Gráfico de superfície de resposta na 8ª Hora de moagem

O gráfico 16 apresenta a superfície de resposta para o resíduo obtido na 8ª h de moagem em função da variação do carregamento e da rotação. Este gráfico também apresenta a variação do resíduo em função dos fatores de estudo, e não o valor nominal do resíduo (tabela 14). Mais uma vez o menor valor de resíduo ocorre para a combinação entre maior rotação de moinho e maior carregamento. A moagem mais eficiente, com menor resíduo, é obtida com uma maior rotação do moinho e um maior carregamento deste com material sólido.

Com relação à rotação, percebe-se seu forte efeito na redução do resíduo a partir de 16,5 rpm, efeito interessante para fins industriais.

Gráfico 16 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 8ª hora de moagem em moinho de 148 litros



Fonte: Do Autor (2016).

O fator rotação evidencia um resultado mais favorável a partir da rotação 16,5, sendo visível tal resultado pela curvatura das linhas em cada nível de carregamento.

4.2.4 Resultados na 10ª hora de moagem

A tabela 18 apresenta a análise estatística da significância dos fatores principais (rotação do moinho, carregamento e uso de água/efluente) e de suas interações (rotação \times carregamento, rotação \times água/efluente, carregamento \times água/efluente), com intervalo de confiança de 95% ($p \leq 0,05$), para o resíduo de moagem obtido na 10ª hora, em moinho Alsing de 148 L. Este é o último tempo de moagem estudado.

Tabela 18 - Resultados de resíduos na 10ª hora individualmente e com interseção entre os fatores em moinho de 148 litros tipo alsing.

Efeitos Estimados: Var.:RESIDUO 10ª HORA; R-sqr=91853; Adj.:77596 (PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 15 08 2**(3-0) design; MS Residual=.0000719 DV: RESIDUO 10ª HORA											
Factor	Effect	Std.Err.	t(4)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	
Mean/Interc.	0,10308	0,00244	42,1201	0,00000	0,09628	0,10987	0,10308	0,00244	0,09628	0,10987	
(1)ROTAÇÃO	-0,03325	0,00599	-5,5464	0,00516	-0,04989	-0,01660	-0,01662	0,00299	-0,02494	-0,00830	
(2)CARREGAMENTO	-0,00516	0,00489	-1,0555	0,35070	-0,01875	0,00842	-0,00258	0,00244	-0,00937	0,00421	
(3)AGUA / EFLUENTE	0,01316	0,00489	2,6899	0,05466	-0,00042	0,02675	0,00658	0,00244	-0,00021	0,01337	
1 by 2	-0,00325	0,00599	-0,5421	0,61651	-0,01989	0,01339	-0,00182	0,00299	-0,00994	0,00669	
1 by 3	-0,00175	0,00599	-0,2919	0,78486	-0,01839	0,01489	-0,00087	0,00299	-0,00919	0,00744	
2 by 3	-0,01150	0,00489	-2,3494	0,07856	-0,02509	0,00209	-0,00575	0,00244	-0,01254	0,00104	
1*2*3	-0,00175	0,00599	-0,2919	0,78486	-0,01839	0,01489	-0,00087	0,00299	-0,00919	0,00744	

Fonte: Do Autor (2016).

Na 10ª hora de moagem, dentre os fatores de estudo e suas interações, somente os fatores rotação do moinho e água/efluente resultaram dentro do limite de confiança de 95%. O fator rotação do moinho apresenta uma redução na variação do resíduo de 3,3, com confiabilidade dos resultados de 99,5%.

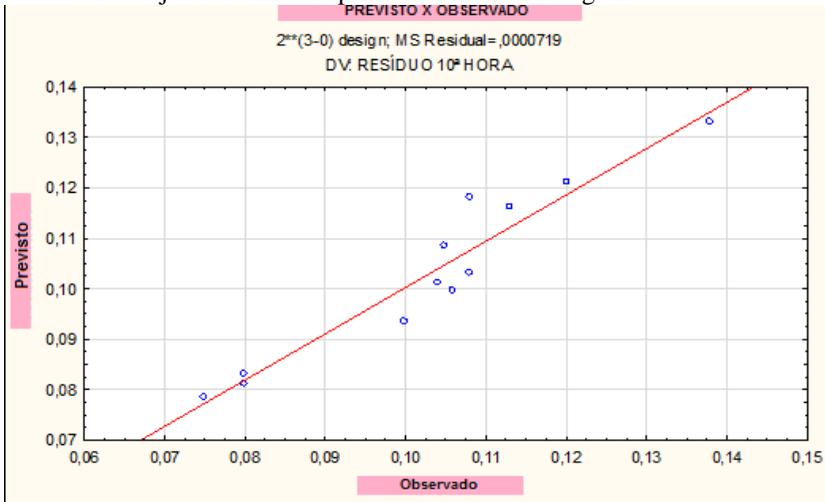
O fator água/efluente apresenta uma confiabilidade dos resultados de 94,5%, considerada adequada neste estudo, e apresenta um aumento na variação do resíduo de 1,3%.

O carregamento e as interações entre os fatores não apresentaram significância estatística na 10ª de moagem para este estudo.

4.2.4.1 Ajuste do modelo para a 10ª hora de moagem

O gráfico 17 apresenta o ajuste do modelo, por regressão linear, para o resíduo de moagem na 10ª hora, mostrando os valores observados e os valores previsto. O R^2 é 0,92 e o R^2 ajustado é 0,78. Para ambos os coeficientes R^2 a correlação é fortíssima, e para o coeficiente R^2 ajustado, a correlação é considerada forte. Desta forma, o modelo de regressão linear para a 10ª hora de moagem é bom, com forte correlação entre os valores previstos e observados, gráfico 17.

Gráfico 17 - Ajuste do modelo para a 10ª hora de moagem

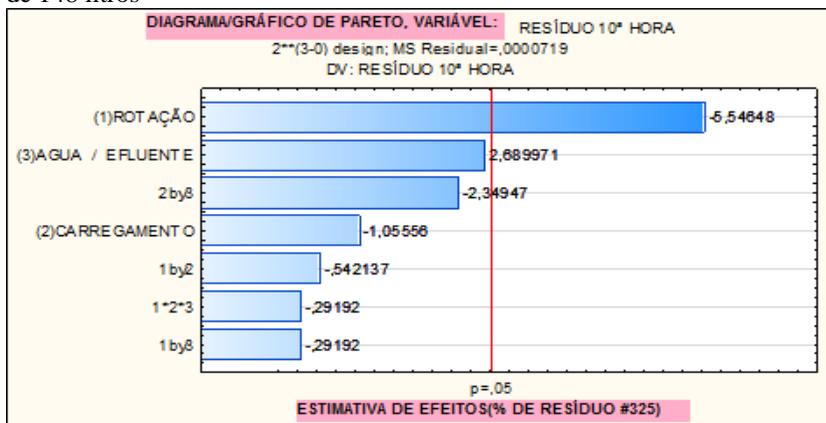


Fonte: Do Autor (2016).

4.2.4.2 Diagrama/Gráfico de Pareto na 10ª hora de moagem

O gráfico 18 apresenta o diagrama de Pareto para a 10ª hora de moagem. Pode-se perceber que, com 95% de confiabilidade, somente a rotação do moinho e marginalmente o uso de água ou efluente influenciaram no resíduo de moagem, apresentando significância estatística. Isoladamente o carregamento e todas as interações não apresentaram significância estatística a 95%, não afetando assim o resíduo de moagem.

Gráfico 18 - Diagrama de Pareto apresentado na 10ª de moagem em moinho de 148 litros



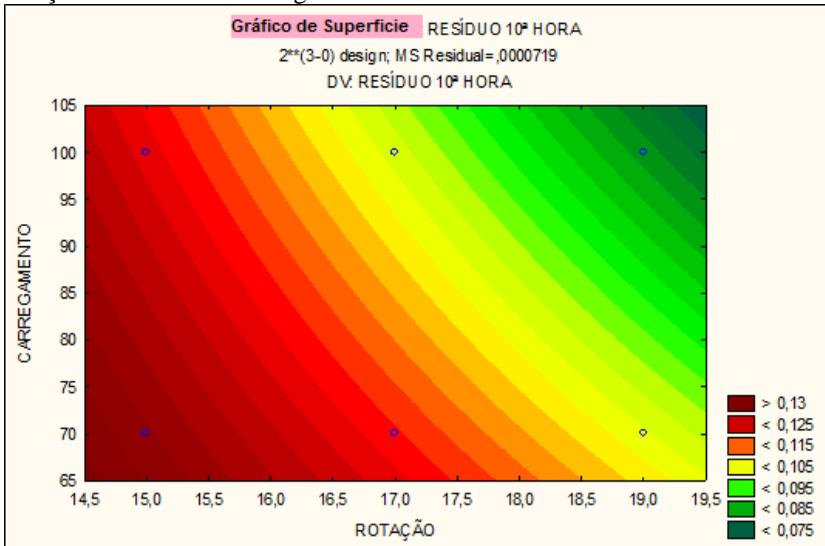
Fonte: Do Autor (2016).

O fator rotação apresentado no gráfico 18, apresenta a possibilidade de redução de até 5,54% do resíduo, adequando a rotação correta ao produto.

4.2.4.3 Gráfico de superfície de resposta na 10ª Hora de moagem

O gráfico 19 apresenta a influência dos fatores carregamento e rotação na 10ª hora, com resultados entre 13% a 7,5% de resíduo #325.

Gráfico 19 - Resultados apresentados entre fatores de carregamento e rotação na 10ª hora de moagem em moinho de 148 litros



Fonte: Do Autor (2016).

O resultado de rotação apresenta sua influência em destaque, porém o fator carregamento apresenta maior influência na 10ª hora, comparativa ao resultado apresentado na 8ª hora no gráfico 15.

É importante destacar, que além dos fatores analisados, rotação, carregamento, água/efluente, possuem outros fatores, os quais, não foram trabalhados nesse projeto, porém apresentaram influências que merecem ser destacados e evidenciados a futuros estudos, como:

- Influências no processo de moagem na variação da densidade;
- Influências no processo de moagem na variação da viscosidade;
- Tempo e mecanismos de desagregação das matérias primas no processo de moagem;
- Tipos de corpo moedores e revestimentos ideais ao processo de moagem cerâmica, respectivos investimento e retorno (ROI)

5 CONCLUSÃO

A conclusão desse trabalho apresenta os resultados de cada fator em um âmbito geral e suas perspectivas financeiras.

5.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como mencionado no item 4.1, o consumo de energia foi medido em um moinho com capacidade líquida de 12.000 litros.

Com relação aos resultados obtidos no item 5.1.4 para o consumo de energia elétrica na moagem, pode-se observar que o moinho equipado com inversor, obteve um consumo de 101,934, possibilitando a redução de ~16% no consumo de energia elétrica no processo de moagem por batelada. Por exemplo, em moinho com inversor operando a 16 rpm, o custo médio da moagem é de R\$ 9,09/hora, levando-se em consideração a moagem nos períodos de ponta e fora da ponta(período/consumo). Em contrapartida, para moinho sem inversor operando a 16 rpm o custo médio da moagem é de R\$ 10,83/hora.

Neste estudo observa-se que o equipamento medido está com um consumo de 121,369 kWh por carga, o qual representa um consumo de 18,67kWh/t. A literatura aponta um consumo de ~19 a 40 kWh/t. Desta forma, a operação dos moinhos na empresa está adequada, porém com possibilidade de redução de consumo com o uso do inversor.

Para uma melhor visualização dos resultados, a tabela 19 apresenta uma simulação de uma produção de 500.000 m² mês, produção esta considerada pequena comparada com a produção mensal brasileira de via úmida estimada em 25.000.000 m².

Tabela 19 - Simulação do consumo de energia no processo de moagem em uma produção de 500.000 m² mês com e sem inversor

SIMULAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA EM UMA PRODUÇÃO DE 500.000 M ² MÊS						
Equipamento	Consumo Kwh	1 hora	Tempo de moagem(6:30 horas)	Custo total mês	Redução mensal	Redução ano
com inversor	15,68	8.304,52		43,18	53.979,38	
sem inversor	18,67	9.888,10		51,42	64.272,64	10.293,26
						123.519,14

Fonte: Do Autor (2016).

Cada hora de redução no tempo de moagem, em uma produção de 500.000 m²/mês com inversor, corresponde a um custo de R\$8.304,52/mês, ou seja, R\$99.654,24 ao ano. Este valor mostra a importância deste estudo nos custos de produção de revestimentos cerâmicos.

5.1.1 Investimentos

Em algumas situações os equipamentos instalados na empresa não estão adequados corretamente a rotação ideal, para esse caso é possível o uso de inversores de frequências, os quais proporcionam ao processo, uma programação dos fatores de melhor desempenho, como rotações diferentes e em dois períodos.

Como visto nos testes iniciais no item 5.1.6, as rotações têm uma grande diferença no desempenho de moagem na 4ª hora do processo, porém se a mesma não for alterada na 6ª desempenham pouca diferença, isso dá-se pelo processo de desagregação, onde rotações menores desempenham melhor essa etapa em detrimento as argilas plásticas.

5.1.1.1 Simulação Retorno sobre os investimentos - ROI

Considerando que um moinho de 12.000 litros em um período de moagem de 6 horas por bateladas produza 6.800 kg de massa atomizada, projetando uma média de 17 kg por m² de produtos Monoporosa em 500.000 m² necessita-se de 8.500 toneladas de massa, transformando em processo 1250 moagens, em um período de 30 dias, necessita-se de 41 moagens por dia, dividindo em três moagens por moinho ao dia, teremos a necessidade de 14 moinhos, para uma margem de segurança 20%, 17 moinhos.

Considerando a necessidade anterior de 17 inversores com custo de R\$9.000,00, teremos um investimento de R\$153.000,00, abatimento dos impostos(21,25%), custo de R\$120.490,00. Considerando a economia apresentada na tabela 19 e a possibilidade de redução do consumo de energia em 16%, teremos o investimento pago em menos de 10 meses.

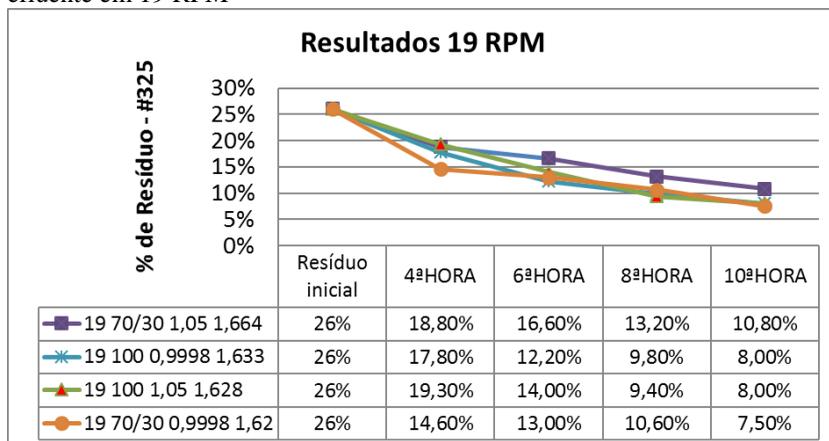
5.2 CONSUMO DE EFLUENTES NO PROCESSO DE MOAGEM

O uso de efluentes junto ao processo de moagem, evidencia a importância de um planejamento no desenvolvimento de um produto.

5.2.1 Análise da influência dos efluentes no processo de moagem

O gráfico 20, apresenta os resultados de moagem comparativos com água limpa e/ou efluente no melhor desempenho de RPM do planejamento experimental:

Gráfico 14 - Resultados de moagens comparativos com o uso de água e/ou efluente em 19 RPM



Fonte: Do Autor (2016).

É possível observar que os resultados no uso de água limpa ou efluente, quanto ao percentual de resíduo em sua densidade de 1,628-1,63 g/cm³, com carregamento de 100% no período entre a 8ª e 10ª hora, mantem-se igual. Pode-se afirmar que o uso de efluentes em lugar de água limpa no processo de moagem, na condicionante da massa de Monoporosa, com densidade de 1,05-1,08g/cm³, não interfere no processo.

5.2.2 Custo do tratamento de efluentes de esmaltação

É relevante evidenciar que a empresa analisada, gerava um volume mensal de 6 a 8 toneladas de resíduos de esmaltação, os quais eram devidamente tratados e enviados para aterros sanitários licenciados; com esse processo, a empresa começou a utilizar 100% desse resíduo na moagem sem alterar seu produto final.

Tal volume de resíduo correspondia a um percentual de 1,5-1,8% do total de massa atomizada produzida pela empresa mensalmente. Para melhor apresentar os custos e cuidados que a empresa necessitava para gerenciar e controlar seu resíduo, é dividido em três etapas:

Etapa 1 – Estrutura de decantação;

Etapa 2 – Tipos e quantidades de materiais utilizados na ETE;

Etapa 3 – Custo geral do processo.

De acordo com o objetivo desse projeto será somente apresentado o custo médio para manter o processo:

- Defloculantes e clarificantes – R\$2.000,00 mês
- Transporte e aterro – R\$1,500,00 mês
- Mão de obra – R\$ 2.500,00 mês

Custo mínimo mensal de R\$6.000,00 e R\$72.000,00 ano, os quais se transformaram em volume de massa atomizada, gerando um aproveitamento médio de R\$600,00 mês em matéria prima. Totalizando uma economia industrial de R\$79.200,00 ano, sem interferirem no processo de moagem ou na qualidade do produto acabado, dando um destino ao resíduo sem poluir o meio ambientes.

5.3 PARÂMETROS RELEVANTES AO RESULTADO IDEAL

O objetivo principal desse estudo está ligado a eficiência energética como também o uso de efluentes sem prévio tratamento em lugar de agua limpa no processo de moagem. Para tais tomadas de decisões, foram realizadas análises de tamanho de partículas, formação mineralógica, análise química e curva de defloração.

Os resultados de tamanhos de partículas, corroboraram para a tomada de decisão do tipo de moinhos a serem utilizados. A formação mineralógica apresentou os resultados de dureza de cada formação, identificando o tipo de corpo moedor e revestimento a ser utilizado. A análise química apresentou todos os elementos químicos da formulação, como também os elementos químicos presentes no efluente. A curva de defloração apresentou o melhor nível de viscosidade, o qual apresente menor influência ao processo. Com todos esses dados é possível a tomada de decisões com maior segurança no uso desses resíduos juntos ao processo industrial.

É importante salientar que o êxito desse processo está condicionado a fatores como:

- A rotação ideal com uso de inversor esteja \leq a 60 Hz apresentada no visor;
- A rotação não esteja projetando impactos que venham a cominuição do revestimento do moinho e corpo moedor.
- As condicionantes do uso de defloculantes estejam dentro da menor viscosidade possível;
- No quesito densidade, não ultrapassar os parâmetros previsto pela literatura 64- 70% da quantidade de sólidos e 36-30% líquidos.
- A dureza do corpo moedor esteja \geq a dureza do material a ser moído, quanto maior a densidade do corpo moedor obtém-se melhores resultados.

- Quanto ao carregamento esteja dentro dos parâmetros definidos no item 2.5, na figura 10.

5.3.1 Aplicação dos parâmetros definidos no projeto em um moinho de 12.000 litros

De acordo com o acompanhamento desse trabalho no período de 2 anos, foi possível observar a mudança de matérias primas por motivos de exaustão total de algumas jazidas. Na substituição, observou-se que as matérias primas substitutas possuíam resíduos(#325) em percentuais maiores, conseqüentemente os tempos de moagem começaram a aumentar.

Usando a literatura, juntamente com o conhecimento dos resultados do planejamento experimental, fora calibrado um moinho, o qual obteve-se os seguintes resultados, apresentados na tabela 20:

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo propôs identificar, dentro do processo de moagem via úmida intermitente, mecanismos para otimização e eficácia do processo de moagem, reduzindo o consumo de energia elétrica, como também o uso dos resíduos de esmaltação.

Os parâmetros mencionados no item 5.3, apresentam as melhores práticas utilizadas pelas empresas cerâmicas em processo de moagem via úmida. Os fatores como:

- rotação;
- fração sólida e líquida;
- distribuição do tamanho de bolas;
- dureza do corpo moedor;
- viscosidade da solução.

Tais fatores apresentaram influenciar no desempenho de moagem, sendo propostos nesse estudo limites máximos e mínimos com base na literatura e em resultados dos testes elaborados.

De acordo com todos os dados realizados e estudados, pode-se concluir que o processo de moagem via úmida em moinhos intermitentes vem atendendo as empresas dentro de um nível regular de otimização, visto que outras soluções apresentadas ao mercado estão disponíveis a custos muito elevados, como também o quesito estrutural requerido por essas soluções; maiores controles de umidade das frações argilosas, maiores tempo de materiais em sazonalidade, entre outros fatores particulares de cada processo que devem ser analisados anteriormente a novos investimentos.

O processo de moagem via úmida trabalha a homogeneização das partículas, a qual é muito bem resolvida pela solução. O estudo presente esta pautado no processo de moagem de uma massa padrão de Monoporosa.

O uso de resíduos na base cerâmica é totalmente aceitável desde que tenham os cuidados de não exceder o uso, descaracterizado os princípios básicos do produto proposto.

REFERÊNCIAS

ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI A. O. Levantamento Inicial do Consumo de Energias Térmica e Elétrica na Indústria Brasileira de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 17-21, jan./abr. 2007.

ANFACER. **História da Cerâmica**, Introdução, São Paulo, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

_____. **Perfil da Produção**. São Paulo, Brasil, 2015, 137 p. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/#!produo/c>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

_____. **Perfil da Produção**. São Paulo, Brasil, 2016.

OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D. **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos**, Florianópolis: Editora da UFSC, 2011, 118 p.

BABISK, M. P. et al. Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha, *Holos*, [s.l.], v. 6, n. 8, p. 169-177, 2012.

CALLISTER JR., W. **A Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 8ª ed. LTC, 2012.

CETEM. **Tratamento de Minérios**. 5ª ed. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

CHAVES, A. P.; PERES, A.E.C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, peneiramento e moagem**. 5ª ed., São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

DELAVI, D. G. G., **Defloculação de suspensões aquosas de argila e sua correlação com caracterizações químicas e de superfície**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

FLORIANO, E.P. **Planejamento ambiental: caderno didático**. Santa Rosa: Anorgs, 2004. 54 p.

GOMES, W.L. **Integração de modelos energéticos e de balanço populacional para simulação de moagem em moinhos de bolas.** Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Mestre em Engenharia, São Paulo, 2014.

LOLLI, L.; NACETTI, G.; MARINO, L.F.B. A Preparação a Seco de Massas Cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 23-27, 2000. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n02/v5n2_3.pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios.** 5ª ed, CETEM, 2010.

MANFREDINI & SCHIANCHI. **Equipamentos.** Sassuolo, Italia, 2015. Disponível em: <<http://www.manfredinieschianchi.com/301-01-4PO-moinhos-pendular.htm>>. Acesso em: 16 set. 2015.

RIBEIRO, M.J.P.M.; ABRANTES, J.C.C. Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo. **Cerâmica Industrial**, [s.l.], v. 6, n. 2., p. 7-11, mar./abril. 2001.

MELCHIADES, F.G. **Estudo comparativo entre as tecnologias via úmida e via seco para a preparação de massas de porcelanato,** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), UFSCAR, São Carlos, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, R. F. **Uma revisão dos princípios de funcionamento e métodos de dimensionamento de moinhos de bolas.** (Monografia com requisito do título parcial de especialista em engenharia de recursos minerais). UFMG, Minas Gerais, 2012.

SERVITECH. **Moinhos de bolas.** Santa Catarina. [201-]. Disponível em: <www.servitech.com.br/brasil/moinhos_de_bolas.doc>. Acesso em: 10 fev.2016.

SILVA, A. C.; SILVA, E. M. S.; SILVA, T. M. Estudo do desgaste de revestimento interno de um moinho de bolas operando com rocha fosfática. **Holos**, [s.l.], v. 3, n. 30, p. 141-148, 2014.

SILVA G. P. B. et al. O uso de resíduos sólidos como forma alternativa para aplicação na indústria cerâmica com foco na redução dos impactos ambientais. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 35., 2015, Fortaleza. **Anais...** . Fortaleza: ENEGEP, 2015. p. 1 - 13.

UNESP. **Banco de dados**. São Paulo, [201-]. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/grm.html>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

VALADÃO, G.E.S.; ARAÚJO, A.C. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007, 234 p.

VELHO, P. L. T.; BERNARDIN, A. M. Reaproveitamento de Lodo de ETE para Produção Industrial de Engobes. **Cerâmica Industrial**, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 20-23, mar./abr. 2011.

WEIR MINERAL. **Matriz**. Austrália, 2016. Disponível em: <http://pt.weirminerals.com/products__services/mill_lining_systems/mill_types/vulco_ball_mill_liners.aspx?tab=features>. Acesso em: 07 jan. 2016.

WILLS, B. A.; NAPIER-MUNN, T. **Mineral Processing Technology An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery**. Burlington: Elsevier, 2006.

ANEXO

**ANEXOS A - MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA -
INSTALAÇÃO RE 6000 EMBRASUL**

Segue em anexo abaixo relatório emitidos pelo equipamento RE 6000 nas medições de consumo de energia elétrica com e sem inversor de frequência:

**MEDIÇÃO DE CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA
INSTALAÇÃO RE 6000 EMBRASUL**



Marcelo Nunes Mariano
Marcelo Nunes Mariano
ID: 2368731-SSP-SC - CPF 786.159.339-87
CREA: 052630-0

Criciúma, 01 de Junho de 2015.

**MEDIÇÃO DE CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

INSTALAÇÃO RE 6000 EMBRASUL



Responsável Técnico
Marcelo Nunes Mariano
Eng. Eletricista / CREA/SC : 052630-0

Empresa
Cerâmica Giseli.

Criciúma, 01 de Junho de 2015.

OBJETIVO

Este documento tem a finalidade de verificar a **O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA** antes e após da instalação de **INVERSOR DE FREQUÊNCIA**, com o objetivo de realizar estudo de viabilidade de instalação de inversor.

NORMAS APLICADAS

NBR- 5410:2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão

IDENTIFICAÇÃO

Da empresa

Nome/razão social : **CERÂMICA GISELI**

Endereço: Rod Sc-446, 720, Criciúma - SC, 88811-400

Da contratada

Nome/Razão: Potencial Engenharia Ltda

Rua Anita Garibaldi, 141 – Sala 305 – Centro - Criciúma/SC

RELATÓRIO GERAL DA MEDIÇÃO

TESTE 01

Início medição: 26/05/2015 às 16:00hs

Final medição: 27/05/2015 às 00:30hs

Obs.: Realizado parada no horário de ponta

EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2,64
(15 minutos)

Potencial Engenharia Ltda CGC: 15.118.756/0001-07 IE:
46330

Rua Anita Garibaldi, 185 CEP: 88801-020 Criciúma SC -
Brasil

Tel: 4834115165 FAX

www.potencialengenharia.net.br

potencial@potencialengenharia.net.br

ANÁLISE GERAL (Integração = 15 minutos)

Intervalo considerado:

terça-feira 26/05/2015 16:00:00,00 até quarta-feira 27/05/2015 00:30:00,00

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 00:00 - 24:00

Intervalo - Ponta:

Intervalo - Reservado:

Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.

Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V

Fase A: tensões [V] Correntes [A]

Média 215,44 Média 25,10

Mínimo 210,03 18:30:00,00 26/05/2015 Mínimo 0,00
19:30:00,00 26/05/2015

Máximo 220,12 21:30:00,00 26/05/2015 Máximo 41,10
22:45:00,00 26/05/2015

Fase B: tensões [V] Correntes [A]

Média 214,88 Média 25,20

Mínimo 209,06 18:30:00,00 26/05/2015 Mínimo 0,00
19:30:00,00 26/05/2015

Máximo 219,75 21:00:00,00 26/05/2015 Máximo 41,10
16:15:00,00 26/05/2015

Fase C: tensões [V] Correntes [A]

Média 215,76 Média 24,74

Mínimo 210,22 18:30:00,00 26/05/2015 Mínimo 0,00
19:30:00,00 26/05/2015

Máximo 220,50 21:00:00,00 26/05/2015 Máximo 40,50
16:30:00,00 26/05/2015

Fora de ponta Ponta

FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	
	kVArh	kVAh	FP					
A	34,045	0,000	30,190	45,503	0,748	0,000	0,000	0,000
B	34,219	0,000	30,044	45,536	0,751	0,000	0,000	0,000
C	33,670	0,000	29,682	44,885	0,750	0,000	0,000	0,000
Total	101,934	0,000	89,916	135,924	0,750	0,000	0,000	0,000

Reservado Total

FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)
	kVArh	kVAh	FP				

A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	34,045	0,000
	30,190	45,503	0,748				
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	34,219	0,000
	30,044	45,536	0,751				
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	33,670	0,000
	29,682	44,885	0,750				
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	101,934	0,000
	89,916	135,924	0,750				

Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo

FASE	kW	kVAr	kVA	FP
A	4,005	3,552	5,353	0,748
B	4,026	3,534	5,357	0,751
C	3,961	3,492	5,281	0,750
Total	11,992	10,578	15,991	0,750

Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos

FASE	kVA(max)	Horário	kVA(min)	Horário
A	8,728	27/05/2015 00:15:00,00	0,000	26/05/2015 19:30:00,00
B	8,773	27/05/2015 00:15:00,00	0,000	26/05/2015 19:30:00,00
C	8,607	27/05/2015 00:15:00,00	0,000	26/05/2015 19:30:00,00
3f	26,107	27/05/2015 00:15:00,00	0,000	26/05/2015 19:30:00,00

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]
26/05/2015 16:15:00,00	19,659	01/01/0001 00:00:00,00
01/01/0001 00:00:00,00	0,000	
26/05/2015 16:30:00,00	19,587	01/01/0001 00:00:00,00
01/01/0001 00:00:00,00	0,000	
26/05/2015 17:00:00,00	19,520	01/01/0001 00:00:00,00
01/01/0001 00:00:00,00	0,000	
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]
27/05/2015 00:15:00,00	17,768	01/01/0001 00:00:00,00
01/01/0001 00:00:00,00	0,000	
27/05/2015 00:00:00,00	17,627	01/01/0001 00:00:00,00
01/01/0001 00:00:00,00	0,000	
27/05/2015 00:30:00,00	17,601	01/01/0001 00:00:00,00
01/01/0001 00:00:00,00	0,000	

Demandas máximas por horário Fase A

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]
--------------------	------------	----------------

26/05/2015	22:45:00,00	6,545	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
26/05/2015	17:00:00,00	6,526	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
26/05/2015	16:45:00,00	6,514	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015	00:15:00,00	5,984	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	00:30:00,00	5,959	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	00:00:00,00	5,937	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Demandas máximas por horário Fase B

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
26/05/2015	16:15:00,00	6,642	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
26/05/2015	16:30:00,00	6,586	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
26/05/2015	18:15:00,00	6,542	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015	00:15:00,00	5,948	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	00:00:00,00	5,900	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	00:30:00,00	5,876	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Demandas máximas por horário Fase C

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
26/05/2015	16:30:00,00	6,514	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
26/05/2015	16:15:00,00	6,503	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
26/05/2015	17:00:00,00	6,483	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015	00:15:00,00	5,836	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	00:00:00,00	5,790	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	00:30:00,00	5,765	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

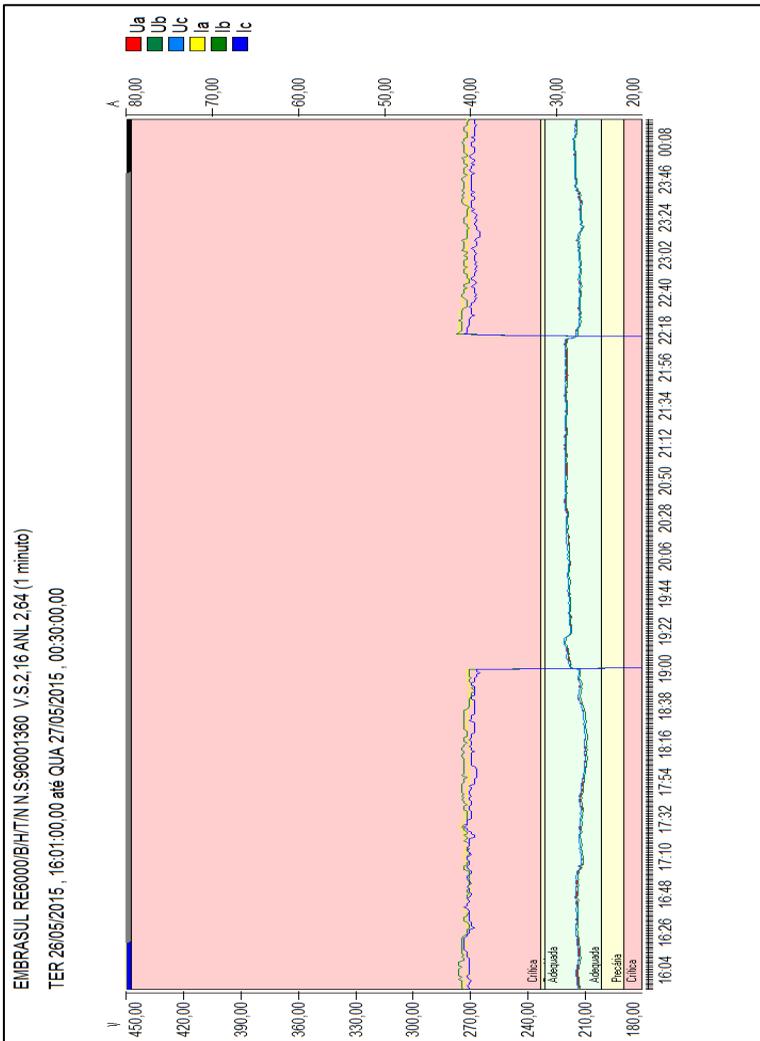
Medição de Corrente e Tensão Elétrica

TESTE 01

Início medição: 26/05/2015 às 16:00hs

Final medição: 27/05/2015 às 00:30hs

Obs.: Realizado parada no horário de ponta



TESTE 02**Início medição: 27/05/2015 às 1:30hs****Final medição: 27/05/2015 às 10:00hs****EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2,64 (15 minutos)****Potencial Engenharia Ltda CGC: 15.118.756/0001-07 IE: 46330****Rua Anita Garibaldi, 185 CEP: 88801-020 Criciúma SC - Brasil****Tel: 4834115165 FAX****www.potencialengenharia.net.br****potencial@potencialengenharia.net.br****ANÁLISE GERAL (Integração = 15 minutos)****Intervalo considerado:****quarta-feira 27/05/2015 01:30:00,00 até quarta-feira 27/05/2015 10:00:00,00****Faixas de horário estabelecidas no software**

Intervalo - Fora de ponta: 00:00 - 24:00

Intervalo - Ponta:

Intervalo - Reservado:

Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.**Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V****Fase A: tensões [V] Correntes [A]**

Média 213,15 Média 42,28

Mínimo 211,18 07:15:00,00 27/05/2015 Mínimo 0,00
02:00:00,00 27/05/2015Máximo 216,15 08:15:00,00 27/05/2015 Máximo 51,60
02:45:00,00 27/05/2015**Fase B: tensões [V] Correntes [A]**

Média 212,24 Média 42,28

Mínimo 210,18 07:15:00,00 27/05/2015 Mínimo 0,00
02:00:00,00 27/05/2015Máximo 215,47 08:15:00,00 27/05/2015 Máximo 51,60
02:45:00,00 27/05/2015**Fase C: tensões [V] Correntes [A]**

Média 213,19 Média 41,87

Mínimo	211,30	07:15:00,00	27/05/2015	Mínimo	0,00
	02:00:00,00	27/05/2015			
Máximo	216,43	08:15:00,00	27/05/2015	Máximo	51,29
	02:45:00,00	27/05/2015			

	Fora de ponta			Ponta				
FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	
	kVArh	kVAh	FP					
A	59,749	0,000	47,940	76,604	0,780	0,000	0,000	0,000
B	59,406	0,000	47,820	76,261	0,779	0,000	0,000	0,000
C	58,905	0,000	47,817	75,870	0,776	0,000	0,000	0,000
Total	178,060	0,000	143,577	228,735	0,778	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						

	Reservado			Total				
FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	
	kVArh	kVAh	FP					
A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	59,749	0,000	
	47,940	76,604	0,780					
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	59,406	0,000	
	47,820	76,261	0,779					
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	58,905	0,000	
	47,817	75,870	0,776					
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	178,060	0,000	
	143,577	228,735	0,778					

Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo

FASE	kW	kVAr	kVA	FP
A	7,029	5,640	9,012	0,780
B	6,989	5,626	8,972	0,779
C	6,930	5,625	8,926	0,776
Total	20,948	16,891	26,910	0,778

Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos

FASE	kVA(max)	Horário	kVA(min)	Horário
A	10,963	27/05/2015 02:45:00,00	0,000	27/05/2015 02:00:00,00
B	10,919	27/05/2015 02:45:00,00	0,000	27/05/2015 02:00:00,00
C	10,894	27/05/2015 02:45:00,00	0,000	27/05/2015 02:00:00,00
3f	32,776	27/05/2015 02:45:00,00	0,000	27/05/2015 02:00:00,00

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
27/05/2015 02:45:00,00	25,587	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:00:00,00	24,886	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:15:00,00	24,637	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015 02:45:00,00	20,483	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:00:00,00	20,183	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:15:00,00	19,916	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				

Demandas máximas por horário Fase A

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
27/05/2015 02:45:00,00	8,562	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:00:00,00	8,336	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:15:00,00	8,321	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015 02:45:00,00	6,847	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:00:00,00	6,709	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:15:00,00	6,676	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				

Demandas máximas por horário Fase B

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
27/05/2015 02:45:00,00	8,539	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:00:00,00	8,251	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:15:00,00	8,144	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015 02:45:00,00	6,806	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
27/05/2015 03:00:00,00	6,728	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				

27/05/2015	03:15:00,00	6,598	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000

Demandas máximas por horário Fase C

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
27/05/2015	02:45:00,00	8,486	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
27/05/2015	03:00:00,00	8,300	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
27/05/2015	03:30:00,00	8,187	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000

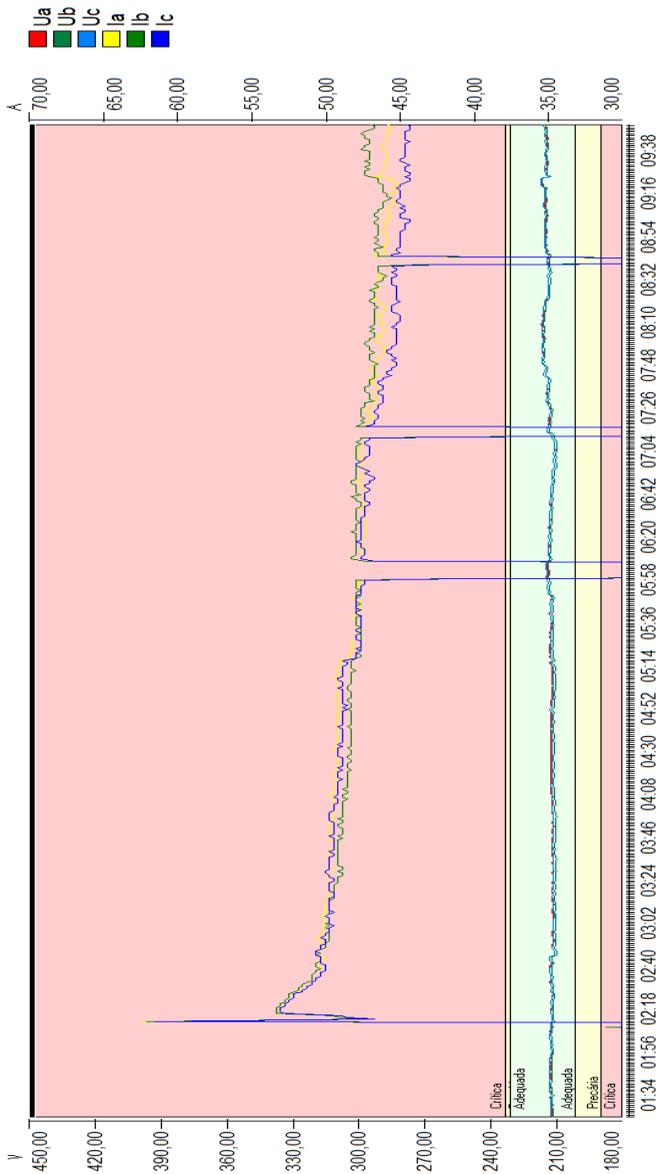
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015	02:45:00,00	6,831	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
27/05/2015	03:00:00,00	6,746	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
27/05/2015	04:15:00,00	6,660	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000

TESTE 02

Início medição: 27/05/2015 às 1:30hs

Final medição: 27/05/2015 às 10:00hs

EMBRASUL RE6000/BH/T/N N.S.96001360 V.S.2.16 ANL 2.64 (1 minuto)
 QUA 27/05/2015 , 01:31:00,00 até QUA 27/05/2015 , 10:00:00,00



TESTE 03**Início medição: 27/05/2015 às 14:30hs****Final medição: 27/05/2015 às 1:30hs****Obs.: Realizado parada no horário de ponta****EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2,64 (15 minutos)**

Potencial Engenharia Ltda CGC: 15.118.756/0001-07 IE: 46330
Rua Anita Garibaldi, 185 CEP: 88801-020 Criciúma SC - Brasil
Tel: 4834115165 FAX
www.potencialengenharia.net.br
potencial@potencialengenharia.net.br

ANÁLISE GERAL (Integração = 15 minutos)**Intervalo considerado:**

quarta-feira 27/05/2015 14:30:00,00 até quinta-feira 28/05/2015
 01:30:00,00

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 00:00 - 24:00

Intervalo - Ponta:

Intervalo - Reservado:

Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.

Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V

Fase A: tensões [V] Correntes [A]

Média 214,75 Média 29,27

Mínimo 212,02 17:30:00,00 27/05/2015 Mínimo 0,00

14:45:00,00 27/05/2015

Máximo 219,33 22:00:00,00 27/05/2015 Máximo 48,00

15:45:00,00 27/05/2015

Fase B: tensões [V] Correntes [A]

Média 214,42 Média 30,20

Mínimo 211,86 17:30:00,00 27/05/2015 Mínimo 0,00

14:45:00,00 27/05/2015

Máximo 218,93 22:00:00,00 27/05/2015 Máximo 49,50

15:45:00,00 27/05/2015

Fase C: tensões [V] Correntes [A]

Média	215,38	Média	28,52		
Mínimo	212,83	15:30:00,00	27/05/2015	Mínimo	0,00
		14:45:00,00	27/05/2015		
Máximo	219,87	22:00:00,00	27/05/2015	Máximo	47,10
		15:45:00,00	27/05/2015		

Fora de ponta Ponta

FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	
	kVArh	kVAh	FP					
A	52,809	0,000	43,997	68,735	0,768	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						
B	55,088	0,000	44,495	70,813	0,778	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						
C	51,592	0,000	43,041	67,188	0,768	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						
Total	159,489	0,000	131,533	206,731	0,771	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						

Reservado Total

FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)
	kVArh	kVAh	FP				
A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	52,809	0,000
	43,997	68,735	0,768				
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	55,088	0,000
	44,495	70,813	0,778				
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	51,592	0,000
	43,041	67,188	0,768				
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	159,489	0,000
	131,533	206,731	0,771				

Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo

FASE	kW	kVAr	kVA	FP
A	4,801	3,999	6,249	0,768
B	5,008	4,045	6,437	0,778
C	4,690	3,913	6,108	0,768
Total	14,499	11,957	18,794	0,771

Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos

FASE	kVA(max)	Horário	kVA(min)	Horário
A	10,208	27/05/2015	15:45:00,00	0,000
				27/05/2015
				14:45:00,00
B	10,513	27/05/2015	15:45:00,00	0,000
				27/05/2015
				14:45:00,00
C	10,053	27/05/2015	15:45:00,00	0,000
				27/05/2015
				14:45:00,00
3f	30,773	27/05/2015	15:45:00,00	0,000
				27/05/2015
				14:45:00,00

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]		
27/05/2015 15:45:00,00	24,181	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 16:00:00,00	23,667	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 16:15:00,00	23,235	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]		
27/05/2015 15:45:00,00	19,033	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 22:45:00,00	18,976	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
28/05/2015 00:30:00,00	18,939	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Demandas máximas por horário Fase A

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]		
27/05/2015 15:45:00,00	8,003	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 16:00:00,00	7,811	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 16:15:00,00	7,692	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]		
27/05/2015 22:45:00,00	6,360	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 15:45:00,00	6,336	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
28/05/2015 00:15:00,00	6,334	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Demandas máximas por horário Fase B

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]		
27/05/2015 15:45:00,00	8,326	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 16:00:00,00	8,195	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
27/05/2015 16:15:00,00	8,058	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]		
27/05/2015 22:45:00,00	6,456	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

28/05/2015	00:15:00,00	6,423	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	23:15:00,00	6,421	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Demandas máximas por horário Fase C

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
27/05/2015	15:45:00,00	7,851	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	16:00:00,00	7,660	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	16:15:00,00	7,485	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
27/05/2015	15:45:00,00	6,278	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
27/05/2015	16:00:00,00	6,206	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
28/05/2015	00:30:00,00	6,196	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

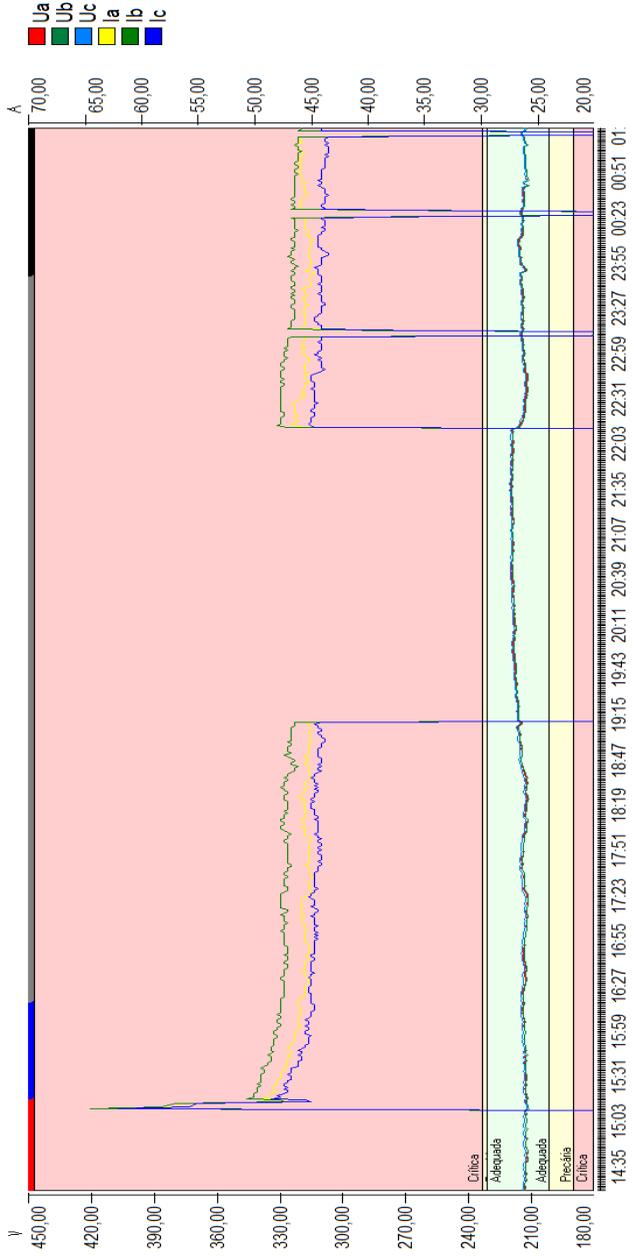
TESTE 03

Início medição: 27/05/2015 às 14:30hs

Final medição: 27/05/2015 às 1:30hs

Obs.: Realizado parada no horário de ponta

EMBRASUL RE6000/B/H/T/N.N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2.64 (1 minuto)
 QUA 27/05/2015 , 14:31:00,00 até QUI 28/05/2015 , 01:30:00,00



TESTE 04**Início medição: 28/05/2015 às 09:40hs****Final medição: 28/05/2015 às 22:30hs****Obs.: Realizado parada no horário de ponta****EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2,64 (15 minutos)****Potencial Engenharia Ltda CGC: 15.118.756/0001-07 IE: 46330****Rua Anita Garibaldi, 185 CEP: 88801-020 Criciúma SC - Brasil****Tel: 4834115165 FAX****www.potencialengenharia.net.br****potencial@potencialengenharia.net.br****ANÁLISE GERAL (Integração = 15 minutos)****Intervalo considerado:****quinta-feira 28/05/2015 09:30:00,00 até quinta-feira 28/05/2015 22:30:00,00****Faixas de horário estabelecidas no software**

Intervalo - Fora de ponta: 00:00 - 24:00

Intervalo - Ponta:

Intervalo - Reservado:

Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.**Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V****Fase A: tensões [V] Correntes [A]**

Média 214,39 Média 24,66

Mínimo 209,65 14:30:00,00 28/05/2015 Mínimo 0,00

09:45:00,00 28/05/2015

Máximo 222,24 21:30:00,00 28/05/2015 Máximo 41,10

10:45:00,00 28/05/2015

Fase B: tensões [V] Correntes [A]

Média 213,93 Média 25,45

Mínimo 209,18 14:30:00,00 28/05/2015 Mínimo 0,00

09:45:00,00 28/05/2015

Máximo 222,02 21:30:00,00 28/05/2015 Máximo 42,89

10:45:00,00 28/05/2015

Fase C: tensões [V] Correntes [A]

Média 215,11 Média 23,94

Mínimo	210,28	14:30:00,00	28/05/2015	Mínimo	0,00
	09:45:00,00	28/05/2015			
Máximo	222,84	21:30:00,00	28/05/2015	Máximo	40,20
	10:45:00,00	28/05/2015			

	Fora de ponta			Ponta					
FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)		
	kVArh	kVAh	FP						
A	52,069	0,000	43,845	68,070	0,765	0,000	0,000	0,000	
B	54,225	0,000	44,373	70,067	0,774	0,000	0,000	0,000	
C	50,443	0,000	43,021	66,297	0,761	0,000	0,000	0,000	
Total	156,738	0,000	131,239	204,427	0,767	0,000	0,000	0,000	
	0,000	1,000							

	Reservado			Total					
FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)		
	kVArh	kVAh	FP						
A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	52,069	0,000		
	43,845	68,070	0,765						
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	54,225	0,000		
	44,373	70,067	0,774						
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	50,443	0,000		
	43,021	66,297	0,761						
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	156,738	0,000		
	131,239	204,427	0,767						

Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo

FASE	kW	kVAr	kVA	FP
A	4,005	3,373	5,236	0,765
B	4,171	3,413	5,390	0,774
C	3,880	3,309	5,100	0,761
Total	12,057	10,095	15,725	0,767

Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos

FASE	kVA(max)	Horário	kVA(min)	Horário
A	8,741	28/05/2015	10:45:00,00	0,000
				28/05/2015
B	9,104	28/05/2015	10:45:00,00	0,000
				28/05/2015
C	8,592	28/05/2015	10:45:00,00	0,000
				28/05/2015
3f	26,436	28/05/2015	10:45:00,00	0,000
				28/05/2015
	09:45:00,00			

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
28/05/2015 10:45:00,00	20,581	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 11:00:00,00	19,537	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 11:15:00,00	19,221	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
28/05/2015 10:45:00,00	16,592	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 13:45:00,00	16,342	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 13:30:00,00	16,320	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				

Demandas máximas por horário Fase A

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
28/05/2015 10:45:00,00	6,783	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 11:00:00,00	6,483	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 11:15:00,00	6,333	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
28/05/2015 10:45:00,00	5,513	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 13:30:00,00	5,504	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 13:00:00,00	5,504	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				

Demandas máximas por horário Fase B

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
28/05/2015 10:45:00,00	7,155	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 11:00:00,00	6,795	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 11:15:00,00	6,710	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
28/05/2015 10:45:00,00	5,628	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				
28/05/2015 13:00:00,00	5,549	01/01/0001	00:00:00,00		0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000				

28/05/2015	13:30:00,00	5,528	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000

Demandas máximas por horário Fase C

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]			
28/05/2015	10:45:00,00	6,641	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
28/05/2015	11:00:00,00	6,258	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
28/05/2015	11:15:00,00	6,177	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]			
28/05/2015	10:45:00,00	5,451	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
28/05/2015	18:45:00,00	5,319	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000
28/05/2015	13:45:00,00	5,317	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00			0,000

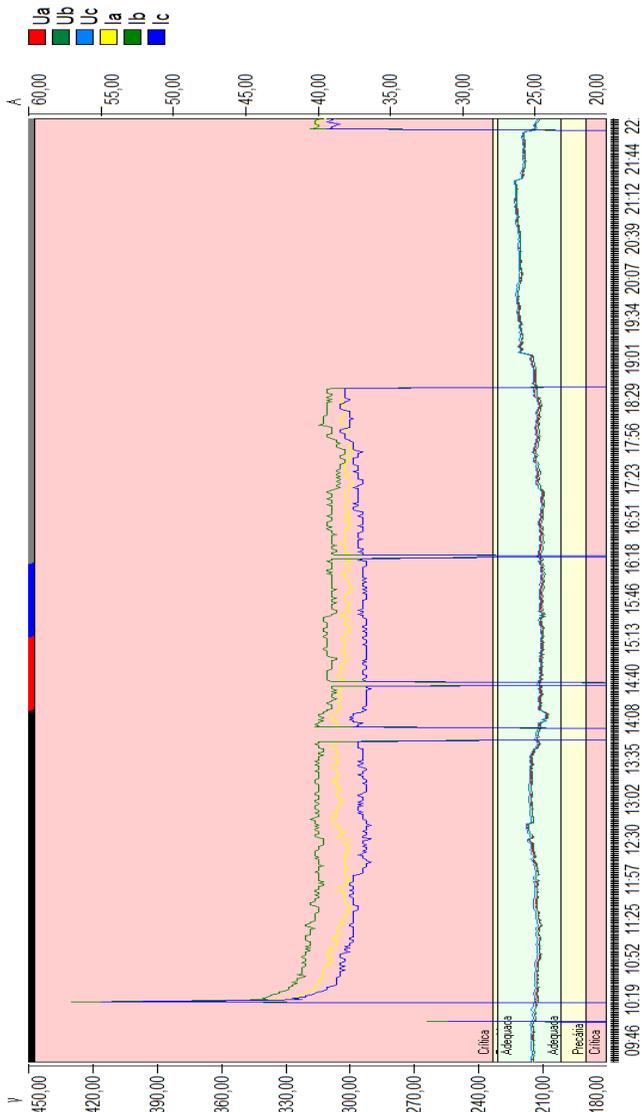
TESTE 04

Início medição: 28/05/2015 às 09:40hs

Final medição: 28/05/2015 às 22:30hs

Obs.: Realizado parada no horário de ponta

EMBRASUL RE6000/B/H/T/M N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2.64 (1 minuto)
 QUI 28/05/2015 , 09:41:00,00 até QUI 28/05/2015 , 22:30:00,00



TESTE 05**Início medição: 29/05/2015 às 01:00hs****Final medição: 29/05/2015 às 07:30hs****EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001360 V.S.2,16 ANL 2,64 (15 minutos)**

Potencial Engenharia Ltda CGC: 15.118.756/0001-07 IE: 46330
Rua Anita Garibaldi, 185 CEP: 88801-020 Criciúma SC - Brasil
Tel: 4834115165 FAX
www.potencialengenharia.net.br
potencial@potencialengenharia.net.br

ANÁLISE GERAL (Integração = 15 minutos)**Intervalo considerado:**

sexta-feira 29/05/2015 01:00:00,00 até sexta-feira 29/05/2015 07:30:00,00

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 00:00 - 24:00

Intervalo - Ponta:

Intervalo - Reservado:

Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.**Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V****Fase A: tensões [V] Correntes [A]**

Média 212,63 Média 37,04

Mínimo 206,96 07:30:00,00 29/05/2015 Mínimo 24,30
01:15:00,00 29/05/2015Máximo 216,61 03:00:00,00 29/05/2015 Máximo 39,89
01:30:00,00 29/05/2015**Fase B: tensões [V] Correntes [A]**

Média 211,86 Média 35,07

Mínimo 206,03 07:30:00,00 29/05/2015 Mínimo 23,10
01:15:00,00 29/05/2015Máximo 216,09 03:00:00,00 29/05/2015 Máximo 37,79
01:30:00,00 29/05/2015**Fase C: tensões [V] Correntes [A]**

Média 212,50 Média 35,05

Mínimo	206,72	07:30:00,00	29/05/2015	Mínimo	23,10
		01:15:00,00	29/05/2015		
Máximo	216,69	03:00:00,00	29/05/2015	Máximo	37,79
		01:30:00,00	29/05/2015		

Fora de ponta Ponta

FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	
	kVArh	kVAh	FP					
A	42,264	0,000	28,926	51,215	0,825	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						
B	39,933	0,000	27,191	48,311	0,826	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						
C	39,171	0,000	28,477	48,428	0,809	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						
Total	121,369	0,000	84,594	147,941	0,820	0,000	0,000	0,000
	0,000	1,000						

Reservado Total

FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)
	kVArh	kVAh	FP				
A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	42,264	0,000
	28,926	51,215	0,825				
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	39,933	0,000
	27,191	48,311	0,826				
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	39,171	0,000
	28,477	48,428	0,809				
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	121,369	0,000
	84,594	147,941	0,820				

Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo

FASE	kW	kVAr	kVA	FP
A	6,502	4,450	7,879	0,825
B	6,143	4,183	7,432	0,826
C	6,026	4,381	7,450	0,809
Total	18,672	13,014	22,760	0,820

Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos

FASE	kVA(max)	Horário	kVA(min)	Horário
A	8,575	29/05/2015 01:30:00,00	5,236	29/05/2015 01:15:00,00
B	8,092	29/05/2015 01:30:00,00	4,962	29/05/2015 01:15:00,00
C	8,122	29/05/2015 01:30:00,00	4,981	29/05/2015 01:15:00,00

3f	24,787	29/05/2015 01:30:00,00	15,178	29/05/2015 01:15:00,00
-----------	---------------	-------------------------------	---------------	-------------------------------

Demandas máximas por horário

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]		
29/05/2015 01:30:00,00	20,412	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 01:45:00,00	19,938	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 02:00:00,00	19,774	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]		
29/05/2015 01:30:00,00	14,062	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 01:45:00,00	14,011	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 02:00:00,00	13,982	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Demandas máximas por horário Fase A

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]		
29/05/2015 01:30:00,00	7,100	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 01:45:00,00	6,940	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 02:00:00,00	6,880	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]		
29/05/2015 01:30:00,00	4,808	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 01:45:00,00	4,754	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 02:00:00,00	4,749	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Demandas máximas por horário Fase B

Fora de ponta [kW]	Ponta [kW]	Reservado [kW]		
29/05/2015 01:30:00,00	6,716	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 01:45:00,00	6,539	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 02:00:00,00	6,475	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

Fora de ponta [kVAr]	Ponta [kVAr]	Reservado [kVAr]		
29/05/2015 01:30:00,00	4,513	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			
29/05/2015 02:00:00,00	4,503	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
01/01/0001 00:00:00,00	0,000			

29/05/2015	01:45:00,00	4,496	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

Demandas máximas por horário Fase C

Fora de ponta [kW]		Ponta [kW]		Reservado [kW]	
29/05/2015	01:30:00,00	6,595	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
29/05/2015	01:45:00,00	6,459	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
29/05/2015	02:00:00,00	6,418	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
Fora de ponta [kVAr]		Ponta [kVAr]		Reservado [kVAr]	
29/05/2015	01:45:00,00	4,760	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
29/05/2015	01:30:00,00	4,740	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		
29/05/2015	03:00:00,00	4,730	01/01/0001	00:00:00,00	0,000
	01/01/0001	00:00:00,00	0,000		

TESTE 05

Início medição: 29/05/2015 às 01:00hs

Final medição: 29/05/2015 às 07:30hs

EMBRASUL RE6000/B/H/T/N.S.96001360 V.S.2,16 ANL 2,64 (1 minuto)
 SEX 29/05/2015 , 01:06:00,00 até SEX 29/05/2015 , 07:30:00,00

