



**FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA.
ENGENHARIA CIVIL**

**DIOGO ALVES DE ANDRADE
KAMILLA HALLOOZA CARNEIRO ALENCAR**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE QUEIMA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-
MECÂNICAS EM CORPO DE PROVA DE CERÂMICA VERMELHA COM 20% DE
GLICERINA BRUTA**

**PORTO NACIONAL – TO
2017**

**DIOGO ALVES DE ANDRADE
KAMILLA HALLOOZA CARNEIRO ALENCAR**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE QUEIMA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-
MECÂNICAS EM CORPO DE PROVA DE CERÂMICA VERMELHA COM 20% DE
GLICERINA BRUTA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Instituto Presidente Antônio Carlos Porto LTDA, como requisito parcial para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Antonio de La Caridad Batista Montes de Oca.

Coorientadora: Ma. Silvia B. G. Souto.

**PORTO NACIONAL – TO
2017**

**DIOGO ALVES DE ANDRADE
KAMILLA HALLOOZA CARNEIRO ALENCAR**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE QUEIMA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-
MECÂNICAS EM CORPO DE PROVA DE CERÂMICA VERMELHA COM 20% DE
GLICERINA BRUTA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Instituto Presidente Antônio Carlos Porto LTDA, como requisito parcial para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e aprovado em ____/____/____ pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Professora Ma. Silvia Barroso Gomes Souto
Inst. Presidente Antônio Carlos Porto – co-orientadora

Professor Dr. Antonio de La Caridad Batista Montes de Oca
Inst. Presidente Antônio Carlos Porto – Orientador

**PORTO NACIONAL – TO
2017**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dados saúde e força para superar as dificuldades.

Aos nossos orientadores Prof. Ma. Silvia Barroso Gomes Souto e Prof. Dr. Antônio de la Caridad Batista Montes Oca. Pela dedicação em nos acompanhar e orientar no pouco tempo que lhes coube, pelas correções e incentivos.

Ao Prof. Me. Ângelo Ricardo Balduino pela ajuda na disponibilização do laboratório de química do IFTO, onde foram realizadas as queimas dos corpos de prova.

E a todos que fizeram parte e contribuíram para a realização de todo este trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetos de estudo a diminuição da temperatura de queima, tensão de ruptura à flexão e microestrutura da cerâmica, selecionando-se a porcentagem de resíduo em 20% de subproduto (glicerina bruta), temperaturas de 700, 800 e 900 °C e tempo invariável de queima de 120 minutos. Diante deste contexto foram elaborados 10 corpos de prova para cada temperatura, feitos manualmente e queimados em suas respectivas temperaturas. Foi observado que existem diferenças de valores nos testes de massa específica aparente, onde quanto maior a temperatura maior também sua massa específica, ou seja, mais denso e compacto é o corpo de prova. No teste de retração linear mais uma vez houve uma diferença de valores indicando que quanto maior a temperatura menor será a peça cerâmica. Já no teste de absorção de água podemos ver que quanto maior for a temperatura de queima menor será a absorção de água já que a peça cerâmica estará mais densa e menos porosa, e que as telhas cerâmicas tem de ser queimadas a uma temperatura mais alta que os blocos. Para o teste de resistência a flexão os corpos de prova tiveram um comportamento não linear pois os mesmos estavam com deformidades em suas estruturas. Entretanto se colocarmos os dados em tabelas estatísticas e de variâncias podemos observar que os resultados são praticamente iguais, viabilizando o intuito deste trabalho que é o aproveitamento de subproduto do biodiesel, nomeadamente a glicerina bruta. As indústrias de cerâmica são grandes receptoras de resíduos sólidos, o intuito de utilizar estes resíduos é dar um destino para eles beneficiando o meio ambiente, pois se utilizados de forma inadequada podem gerar muita poluição.

Palavras-chave: Glicerina. Temperatura. Cerâmica. Resíduos. Biodiesel.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the percentage of residue in 20% of by-product (crude glycerin), temperatures of 700,800 and 900 °C and the invariable time of burning, flexural rupture stress and microstructure of the ceramic. Of 120 minutes. In this context, 10 test specimens were prepared for each temperature, done manually and burned at their respective temperatures. It was observed that there are differences of values in the tests of apparent specific mass, where the higher the temperature the higher its specific mass, ie, the denser and more compact the test body. In the linear retraction test once again there was a difference of values indicating that the higher the temperature the lower the ceramic part. In the water absorption test, we can see that the higher the firing temperature the lower the water absorption because the ceramic part will be denser and less porous, and the ceramic tiles have to be burned at a higher temperature than The blocks. For the flexural strength test, the specimens had a non-linear behavior because they had deformities in their structures. However, if we put the data in statistical tables and of variances we can see that the results are practically the same, making possible the intention of this work that is the use of by-product of the biodiesel, namely the crude glycerin. The ceramic industries are large receivers of solid waste, the purpose of using these wastes is to give them a destination for them benefiting the environment, because if used improperly can generate a lot of pollution.

Key words: *Glycerin. Temperature. Ceramics. Waste. Biodiesel.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. CERÂMICA VERMELHA	15
2.2. PROCESSO PRODUTIVO	16
2.3 SINTERIZAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA	19
2.4. EMPREGO DE RESÍDUOS NA MASSA CERÂMICA.....	23
2.5 RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE BIODIESEL	24
2.6 CARACTERÍSTICAS DA GLICERINA BRUTA	25
2.7. APLICAÇÕES DA GLICERINA.....	26
3. OBJETIVOS.....	28
3.1. OBJETIVO GERAL	28
4. METODOLOGIA	29
4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	34
4.3.1. Materiais Voláteis por Evaporação da Amostra	34
4.3.2. Porcentagem de Sais Presente na Glicerina	34
4.3.3. Porcentagem de Material Graxo.	35
4.3.4. Porcentagem de Cinzas.....	35
4.4. MASSA ESPECÍFICA APARENTE	36
4.5. RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA	36
4.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA:.....	37
4.7. CÁLCULOS.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
6. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APENDICE.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produtos mais comercializados no Brasil.....	16
Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo	17
Figura 3 - Processo de extrusão	18
Figura 4 – Tensão de ruptura à flexão e absorção de água em função da temperatura de queima.	21
Figura 5 – Massa específica aparente e área superficial específica em função da temperatura de queima.	22
Figura 6 – Módulo de elasticidade flexural em função da temperatura de queima....	23
Figura 7 – Fórmula estrutural da Glicerina.	25
Figura 8 – Principais aplicações da Glicerina.....	27
Figura 9 – Fluxograma das etapas de preparação dos corpos de provas, bem como dos ensaios laboratoriais para todas as temperaturas estudadas.....	30
Figura 10 - Balança eletrônica.....	31
Figura 11 - Estrutura em ferro para moldar e prensar os corpos de prova.....	31
Figura 12 - Misturadora elétrica.....	32
Figura 13 - Corpos de prova em banho Maria após a queima.	33
Figura 14 - a) - Acessório para teste de ruptura de flexão. b) - Prensa hidráulica. ...	34
Figura 15 - Gráfico de massa específica aparente a seco e após queima a temperaturas de 700, 800 e 900°C do corpo de prova cerâmico em função da temperatura.	39
Figura 16 - Gráfico da retração linear dos corpos de prova cerâmicos após a queima em função das temperaturas de 700, 800 e 900°C.	41
Figura 17 - Gráfico do teste de absorção de água nos corpos de prova em relação ao aumento da temperatura.	43
Figura 18 - Gráfico da resistência à flexão após queima da massa cerâmica em função da temperatura de 700, 800 e 900°C.	45
Figura 19 - Corpos de prova com ligeira deformidade	45
Figura 20- Corpos de prova depois da ruptura.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados obtidos para massa específica aparente antes e após a queima para temperaturas de 700, 800, 900°C.....	38
Tabela 2- <i>Teste T-student e teste de Fisher para massa específica aparente.....</i>	39
Tabela 3- <i>Tabela de retração linear.....</i>	40
Tabela 4- <i>Teste T-student e teste de Fisher para retração linear.....</i>	41
Tabela 5- <i>Tabela de absorção de água.....</i>	42
Tabela 6- <i>Teste T-student e teste de Fisher para absorção de água.....</i>	43
Tabela 7- <i>Tabela de resistência à flexão.....</i>	44
Tabela 8 - <i>Teste T-student e teste de Fisher para resistência à flexão.....</i>	46
Tabela 9- <i>Tabela de médias e desvios padrões.....</i>	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PDO – Propanodiol

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

Mineropar – Minerais do Paraná

NBR – Normas Brasileiras

IUPAC –International Union of Pure and Applied Chemistry

ASTM –AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

JCPDS – Joint Commitee on Difrraction Standards

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

MO – Microscopia ótica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Métodos

RBTB – Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel

1. INTRODUÇÃO

Segundo a RBTB (2017), durante o ano de 2015 foram produzidos cerca de 3,9 bilhões de litros de biodiesel no Brasil, e essa produção tende a aumentar ano após anos. Durante o processo de fabricação do biodiesel, este é obtido a partir da transesterificação de triglicerídeos e tem como principal matéria-prima óleos de origem vegetal. Dentre as mais comuns estão a soja, o girassol, a mamona, o dendê, o algodão e o amendoim, sendo a soja a mais característica da região do semiárido.

A RBTB (2017) afirma que os principais subprodutos do biodiesel são a glicerina e a torta o/ou farelo. A glicerina corresponde a 15% do total de biodiesel produzido, e essa produção é significativa em relação ao volume de biodiesel produzido, e o mercado não consegue absorver toda essa produção.

A Glicerina é um composto atóxico que pode ser utilizado como matéria prima para a produção de diversos produtos e também no meio da produção como, por exemplo, em cosméticos. Por não ter sabor e nem odor, a glicerina vem sendo usada como emoliente e umectante em diversos produtos, como batom, blush, sombra e afins. Mas para tal acontecer, a glicerina proveniente do biodiesel necessita passar por um processo de purificação, o que acaba por se tornar dispendioso para essas indústrias.

Como a indústria farmacêutica que é uma das maiores consumidoras de glicerina não pode utilizar a glicerina proveniente do biodiesel, por ser contaminado, esse subproduto fica inutilizado.

Muitas pesquisas são conduzidas a fim de descobrir novas aplicações para a glicerina. Essa tem sido uma grande preocupação, pois se não houver o que fazer com toda essa glicerina produzida, acabará se tornando um fardo para o meio ambiente, indo contra o principal motivo da produção de biodiesel.

Cada dia mais buscam-se novas aplicações de grandes volumes para glicerina no mundo, e isto provavelmente se dará nos intermediários para plásticos, como o propanodiol - PDO, contudo não são soluções de curto prazo.

A utilização da glicerina tem como objetivo uma maior eficiência energética na queima da cerâmica vermelha, assim esperando diminuir a temperatura de queima, pois é adicionado um combustível a massa, e um maior lucro para a empresa uma vez que os resíduos provenientes do biodiesel são reutilizados de diversas formas, além de maximizar o lucro da empresa, a utilização desse subproduto promove melhorias ao meio ambiente.

A Indústria de cerâmica vermelha caracteriza-se pela cor avermelhada de seus produtos, este setor utiliza basicamente somente a argila comum no processo industrial. Essas argilas, em sua grande maioria, são caulinitoílicas, cujos componentes principais são os argilominerais (silicatos hidratados de alumínio), matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio.

Em termos técnicos, a cerâmica pode ser definida da seguinte maneira: compostos sólidos formados pela aplicação de calor e, às vezes, calor e pressão, compreendendo pelo menos dois elementos, sendo que um deles é um não metal ou um sólido não metálico. Em outras palavras, a cerâmica é definida como “a arte e a ciência de fazer e usar artigos sólidos, que têm como componente essencial a argila, e são compostas em grande parte de materiais inorgânicos não metálicos”.

As cerâmicas são compostas de elementos metálicos e não metálicos, e esses elementos são frequentemente óxidos, nitretos e carbetos. Estes materiais são tipicamente isotérmicos e isoelétricos, e são mais resistentes a altas temperaturas e ambientes abrasivos do que os metais e polímeros (CALLISTER, 2007).

O processo produtivo da cerâmica vermelha é dividido em onze etapas que se iniciam na extração da matéria prima, passam por todo um processo de manufatura, finalizando na expedição do produto final.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CERÂMICA VERMELHA

De acordo com a história a cerâmica remota à época da pré-história, quando o homem aprendeu a usar e dominar o fogo. Conforme utilizava o fogo, ele percebeu que o calor fixava a forma dos materiais terrosos, tornando-os resistentes à água. Os mais antigos produtores de tijolos cerâmicos queimados aprenderam sua arte de acordo com sua necessidade de utilizar os objetos, sem o conhecimento prévio do processo de fabricação. Aprenderam rapidamente que as argilas não tinham as mesmas propriedades e somente certas argilas eram usadas para certos produtos e aplicações (GRIM, 1962).

A Indústria de cerâmica vermelha caracteriza-se pela cor avermelhada de seus produtos, este setor utiliza basicamente somente a argila comum no processo industrial (MOTTA, 2001). Essas argilas, em sua grande maioria, são caulinitoílicas, cujos componentes principais são os argilominerais (silicatos hidratados de alumínio), matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio (PACHECO, 2011).

O termo “cerâmico” vem da palavra grega *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis destes materiais são normalmente atingidas por tratamento térmico a alta temperatura (acima de 500°C) conhecido como ignição (CALLISTER, 2007).

Uma das propriedades que as argilas apresentam, é favorecimento de inertização de resíduos, outra vantagem é que o processo térmico potencializa as reações químicas entre os resíduos incorporados na argila e os demais componentes da massa (VIEIRA, 2006).

Em termos técnicos, a cerâmica pode ser definida da seguinte maneira: compostos sólidos formados pela aplicação de calor e, às vezes, calor e pressão, compreendendo pelo menos dois elementos, sendo que um deles é um não metal ou um sólido não metálico. Em outras palavras, a cerâmica é definida como “a arte e a

ciência de fazer e usar artigos sólidos, que têm como componente essencial a argila, e são compostas em grande parte de materiais inorgânicos não metálicos” (KINGERY, 1960). As cerâmicas são compostas de elementos metálicos e não metálicos, e esses elementos são frequentemente óxidos, nitretos e carbetos. Estes materiais são tipicamente isotérmicos e isoelétricos, e são mais resistentes a altas temperaturas e ambientes abrasivos do que os metais e polímeros (CALLISTER, 2007).

Atualmente os produtos fabricados no Brasil à base de cerâmica vermelha, mais negociados no mercado são: os blocos de vedação, tijolos, telhas, tubos, ladrilhos, elementos vazados e outros como apresentado na figura 1.



Figura 1: Produtos mais comercializados no Brasil

Fonte: SEBRAE Online, (2010).

2.2. PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo da cerâmica vermelha é dividido em onze etapas que se iniciam na extração da matéria prima, passam por todo um processo de manufatura, finalizando na expedição do produto final.

Na Figura 02 pode ser observado o fluxo de produção dos produtos em cerâmica vermelha.

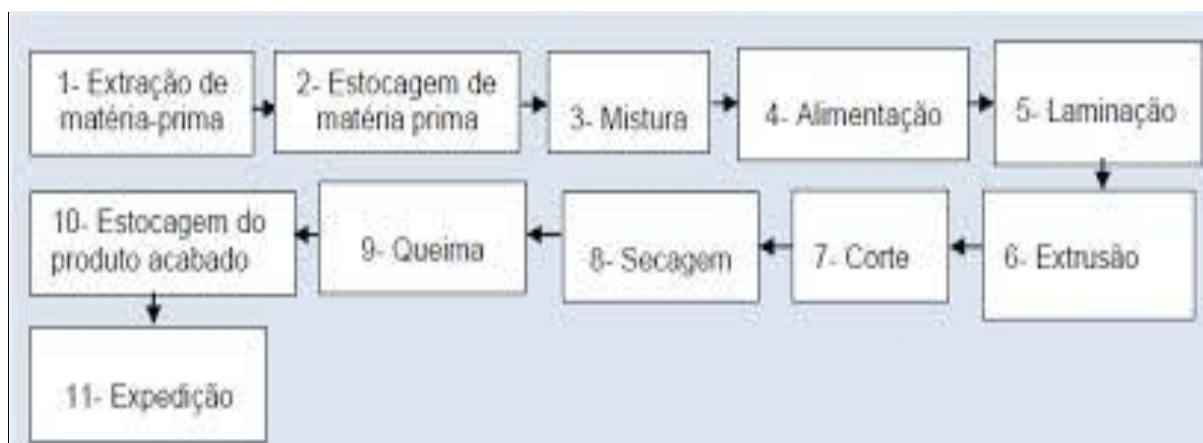


Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo

Fonte: Revista Produção Online (2010).

De acordo com a FEAM (2012), tanto a areia como a argila pode ser extraída junta ou separada. Para extrair a areia é necessário retirar a camada superior de argila que equivale de 30% a 40% do total de material que é passado pelo desmonte.

Já a extração da argila é feita à céu aberto, segundo a FEAM e FIEMG (2013), é realizada de preferência no período de menos chuvas podendo ser feita manualmente ou mecanizada, com a ajuda de máquinas pesadas como: escavadeiras, trator de esteira com lâmina, pás carregadeiras e outros.

Segundo a FEAM e FIEMG (2013), no recebimento da matéria prima é coletada uma pequena amostra para a realização de ensaio de resíduo, é recomendado que se faça essa operação na primeira e na última carga para saber se houve mudança na extração. A argila deve ser armazenada em pequenos carregamentos cobertos por lonas plásticas para acelerar a decomposição de materiais orgânicos e sais solúveis. Deve-se armazenar essa matéria prima em camadas para facilitar a mistura no momento de retirá-las da pilha de secagem. É muito importante que a argila descanse para obter um bom resultado.

Segundo Baccelli (2010) as argilas (em camadas ou misturadas) são colocadas no pátio para serem levadas para o caixão alimentador em seguida, onde ela é dosada e passada pelo destorroador, para que os pedaços grandes de argila sejam quebrados. O misturador homogeneiza o material, que em seguida é levado

para laminador e depois para a maromba (extrusora), onde será moldada e cortada no tamanho desejado, como pode ser observado na Figura 03.



Figura 3 - Processo de extrusão

Fonte: Site da Cerâmica Primavera, (2016).

A FEAM e FIEMG (2013) afirmam que as peças podem ser cortadas com cortadores automáticos ou manuais, depois de cortadas, as peças irão ser selecionadas através de uma inspeção visual e levadas para o setor de secagem. E as que não passaram na inspeção (defeituosas) irão ser introduzidas novamente na etapa de preparação da massa.

De acordo com a FIEMG (2009) grandes benefícios podem ser obtidos se a massa cerâmica for muito bem preparada, como: uma economia no consumo de energia de mais de 35%; aumento na produtividade de 25% e uma queda de 40% dos índices de deformação.

A etapa seguinte é a secagem, Minerais do Paraná (Mineropar) afirma que o material pode ser seco diretamente no chão ou em prateleiras, variando de acordo com o local e o clima. Em olarias mais desenvolvidas há estufas e as peças são transportadas por vagonetes.

Segundo a FEAM e FIEMG (2013), a secagem pode ser feita de duas formas: natural e artificial, cada uma com suas vantagens e desvantagens. A secagem natural tem como vantagens: menor custo com geração de calor e favorece os locais em que as condições climáticas são melhores, suas desvantagens são: tempo elevado; baixa produção; dependência do clima e pode afetar a qualidade das peças.

Quando o material é passado pelo processo de secagem fica mais sensível ao choque segundo a FEAM e FIEMG (2013), por isso é necessário que se tenha mais cuidado principalmente no transporte manual, evitando os solavancos e trepidações. É recomendável que o material seja levado o mais rápido possível para o forno, pois a argila reabsorve a umidade do ar rápido, deixando o material muito fraco.

Logo após se faz a queima, de acordo com Baccelli (2010) as peças são submetidas a um tratamento térmico de queima em altas temperaturas. As temperaturas de queima variam de 750 a 1000°C, tendo cada peça (tijolo, telha ou bloco cerâmico) a sua temperatura ideal.

A última parte no processo de produção é a expedição, a FEAM e FIEMG (2013) declaram que o transporte dos produtos queimados deve ser feito com muito cuidado para evitar acidentes. O controle de qualidade deve ser feito em quantidades pequenas (aproximadamente 100 peças), serão realizados testes como: absorção de água; torção; dimensões; permeabilidade; sonoridade; empenamento e desvio padrão em relação ao esquadro.

De acordo com a FEAM e FIEMG (2013) os lotes novos não devem ser misturados com os velhos para não haver problemas, principalmente com as telhas de encaixe. Todo lote precisa receber identificação, contendo data e número do forno.

2.3 SINTERIZAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA

O processo de sinterização mais comumente chamado de processo de queima consiste em “assar” a massa cerâmica, depois de prensada e seca a temperatura ambiente, em um forno por determinado tempo e temperaturas acima de 600 °C.

Segundo Santos, (1989 apud PINHEIRO, 2010) as propriedades mecânicas dos produtos de cerâmica vermelha são dependentes da composição das argilas e das condições de processamento empregados. Em particular a temperatura de queima é um parâmetro de processamento que influencia fortemente as propriedades mecânicas. A maioria das empresas de cerâmica vermelha no Brasil não utiliza uma temperatura de queima adequada na fabricação de seus produtos, o qual resulta em produtos de baixa qualidade. Por outro lado, durante o processo de queima, um conjunto bastante complexo de processos dependentes da temperatura de queima se processa no interior da massa cerâmica argilosa. Essas reações promovem a formação de novas fases cerâmicas, que são determinantes das propriedades físico-mecânicas no produto final.

A temperatura de queima se constitui na atualidade também em um importante parâmetro tecnológico na indústria de cerâmica vermelha, com implicações econômicas, energéticas e ambientais (PINHEIRO, 2010).

Segundo os experimentos de (PINHEIRO2010) com temperaturas de queima até cerca de 950 °C obtém-se uma cerâmica mais porosa, sendo mais favorável à fabricação de tijolos e blocos cerâmicos. Estes produtos devem ser realmente mais porosos, para que eles possam ser empregados no processo construtivo de forma adequada. Enquanto que para temperaturas de queima acima de 950 °C obtém-se uma cerâmica mais suave e mais densa, favorecendo a produção de telhas e tubos. Nestes produtos, por exemplo, uma importante propriedade técnica é a impermeabilidade, que exige uma cerâmica menos porosa, como mostra na Figura 04.

Isto indica que a principal razão para o aumento da resistência mecânica em cerâmica vermelha é a redução da porosidade aberta no interior da peça cerâmica.

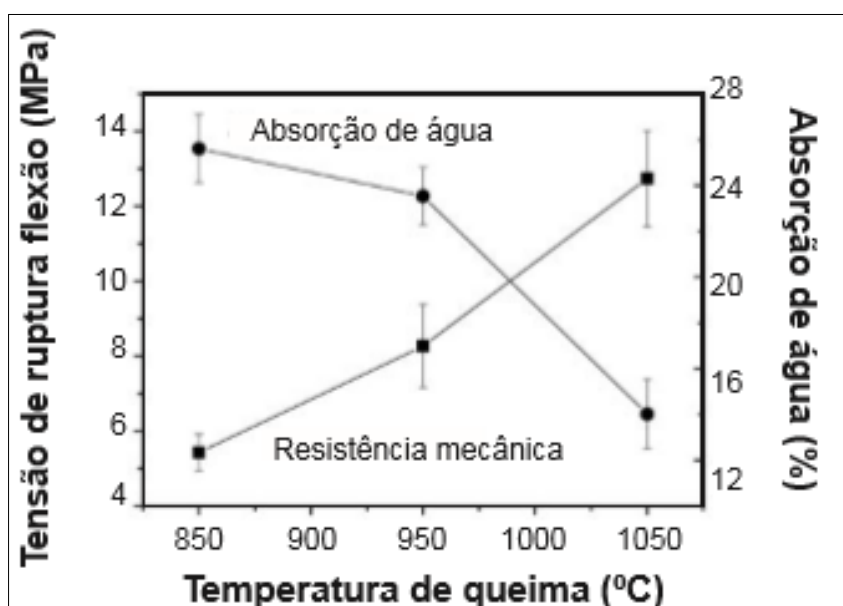


Figura 4 – Tensão de ruptura à flexão e absorção de água em função da temperatura de queima.

Fonte: PINHEIRO, (2010)

Outro fator importante no processo de queima da cerâmica é a retração, que por definição nada mais é que diminuição de volume de um material que pode ter diversas causas como a calcinação, arrefecimento, umidade (INFOPEDIA, 2016).

O efeito da temperatura de queima é o de promover o aumento da densificação com redução da área superficial específica. Isto é importante, pois a redução da área superficial atua como a força motora principal durante o processo de sinterização. Este comportamento fortifica as estruturas durante o processo de queima como é mostrado na figura 05.

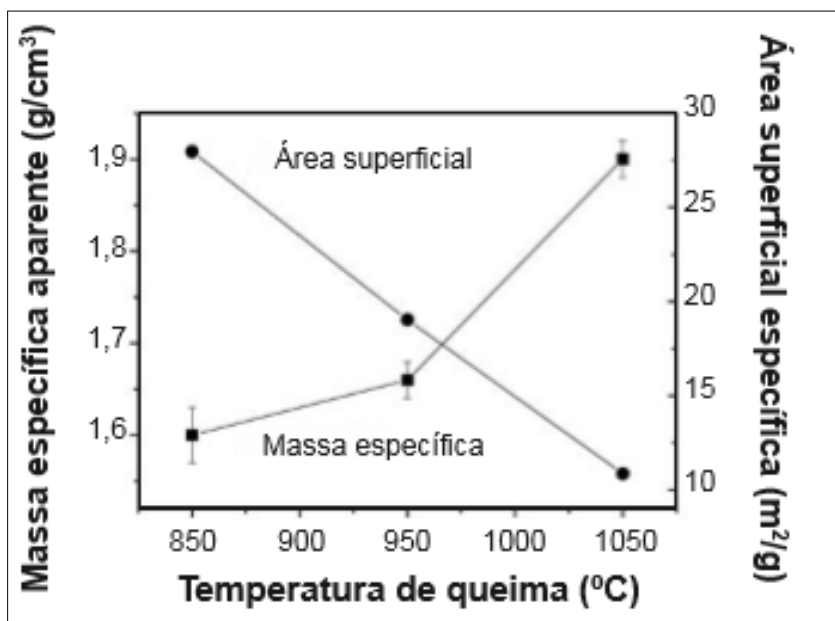


Figura 5 – Massa específica aparente e área superficial específica em função da temperatura de queima.

Fonte: PINHEIRO, (2010).

O módulo de elasticidade flexural das peças de cerâmica vermelha observa-se a dependência com a temperatura de queima (Figura 6). O valor do módulo de elasticidade aumentou 1,3 GPa, como resultado do aumento da temperatura de sinterização. Esta variação no valor do módulo de elasticidade está ligada diretamente à evolução das fases presentes nas peças queimadas, dependendo da temperatura de queima. (PINHEIRO, 2010).

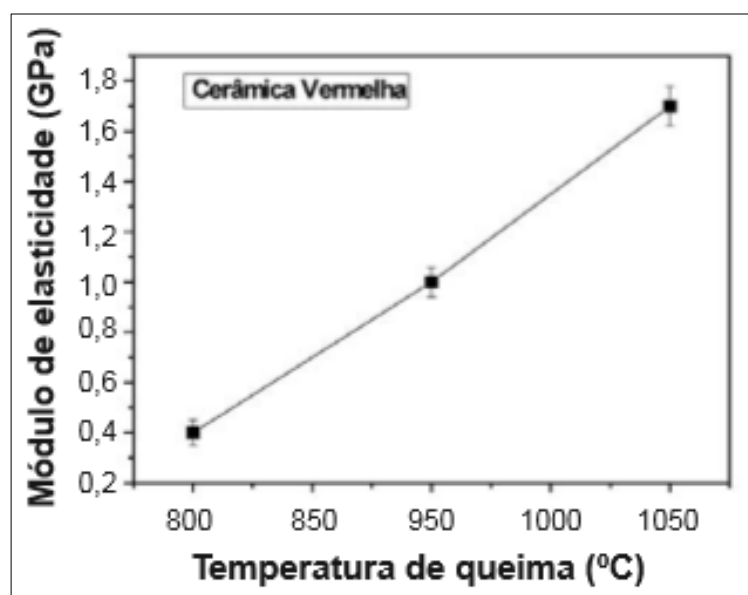


Figura 6 – Módulo de elasticidade flexural em função da temperatura de queima.

Fonte: PINHEIRO, (2010)

2.4. EMPREGO DE RESÍDUOS NA MASSA CERÂMICA

Segundo Monteiro e Vieira (2006) as indústrias de cerâmica são grandes receptoras de resíduos sólidos, o intuito de utilizar estes resíduos é dar um destino para eles beneficiando o meio ambiente, pois se utilizados de forma inadequada podem gerar muita poluição.

A NBR-10004 (2004) afirma que resíduos com compostos orgânicos aromáticos, alifáticos e oleosos da indústria petrolífera são atualmente passados por processos de inertização ou encapsulamento. Nestes processos são usados adsorventes industriais, feitos especificamente para a adsorção e encapsulamento destes resíduos, tornando-os estáveis quando submetidos à lixiviação e solubilização.

Holanda; Santos e Sousa (2003) abordam vantagens e desvantagens na adição de resíduos oleosos provenientes de separadores de água e óleo das indústrias petrolíferas.

De acordo com Alves e Holanda (2005) a quantidade mais adequada para a adição de borra oleosa na fabricação de blocos cerâmicos varia de 10 a 20% em peso, onde suas características, resistência mecânica e a absorção de água encontram-se maximizadas. E apresentam estabilidade química comprovadas pelos resultados das análises de solubilização e lixiviação.

2.5 RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE BIODIESEL

Segundo Mota e Pestana (2011) diversos co-produtos e resíduos gerados na produção do biodiesel devem ser aproveitados de uma forma sustentável e economicamente viável. Muitas formas de aproveitamento são utilizadas para contribuir com o meio ambiente, além de agregar valor econômico à indústria do biodiesel.

Leiras (2006) constata que durante o processo produtivo, na fase em que o óleo é extraído da mamona se forma uma grande quantidade de um resíduo derivado da prensagem da mamona, torta da mamona.

Mota e Pestana (2011) afirmam que os resíduos das tortas de mamonas são utilizados como adubos orgânicos, devido ao seu teor de nitrogênio e sua toxicidade. Se passados por um processo de desintoxicação também podem ser usados em alimentos animais.

De acordo com Krause (2008) cerca de 40% da composição das tortas são proteínas e fibras. As outras oleaginosas geram tortas que são utilizadas para ração animal sem a necessidade do processo de desintoxicação.

As tortas de mamona também podem ser utilizadas na geração de energia elétrica, Mota e Pestana (2011) constata que através dessa utilização pode-se reduzir os impactos ambientais em unidades de beneficiamento de biodiesel.

A glicerina é uma matéria prima que pode ser usada em vários setores industriais, como: cosmético; farmacêutico; alimentício e outros. Sendo descartada de

forma correta, sustentável e contribuindo economicamente para a indústria. (MOTA E PESTANA, 2011).

2.6 CARACTERÍSTICAS DA GLICERINA BRUTA

A Glicerina ou glicerol, como também é conhecido é o nome comercial do composto químico de nomenclatura IUPAC propano 1,2,3-triol, cuja composição química pode ser apreciada na Figura 07.

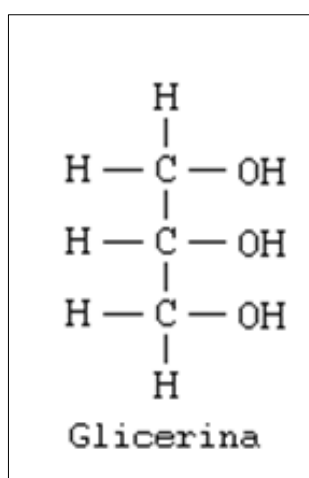


Figura 7 – Fórmula estrutural da Glicerina.

Fonte: Adaptado de INFOESCOLA, (2016).

A cada dia a glicerina vem se tornando um assunto muito importante na área da química verde. Buscando novas opções para os combustíveis fósseis, grandes poluentes e de fontes de difícil acesso, um dos principais substitutos para ele tem sido o biodiesel. Devido ao seu alto rendimento, a produção de biodiesel por catálise ácida é a mais utilizada hoje em dia, produzindo como subproduto uma enorme quantidade de glicerina que por sua vez não deve ser descartada na natureza. Com o maior investimento na produção dessa forma de combustível alternativo, cada vez mais aumentam as reservas de glicerina. Como espelho dessa crescente produção, tem-se observado a queda gradativa do custo da glicerina (LORENA, [201-?])

A composição química da glicerina bruta varia principalmente pelo tipo de catalisador (alcalino ou ácido) utilizado no processo de transesterificação e em função da variação dos teores de glicerol presentes na glicerina, podendo ser classificadas de baixa pureza quando os teores de glicerol são de até 70%, glicerina de média pureza teor de glicerol de 80 a 90% e glicerina de alta pureza com teores de glicerol acima de 99% (SCHRODER & SUDEKUM, 1999).

2.7. APLICAÇÕES DA GLICERINA

Segundo (VEDANA, 2008) atualmente a procura por glicerina é grande, mas condicionada aos baixos preços. No campo experimental, as mais diversas aplicações foram anunciadas por empresas, universidades e centros de pesquisas, dentre elas:

- Fabricação de rações.
- Matéria-prima para a produção de “plástico verde”.
- Matéria-prima para a produção de compósitos sólidos.
- Queimada na caldeira gerando calor e energia elétrica.
- Aumenta a produção de biogás na fermentação anaeróbica em biodigestores.
- Produção de sabonetes, já que o sebo bovino ficou muito caro.

As aplicações da glicerina são múltiplas: é o ingrediente básico de gomas e resinas usadas na fabricação de diversos tipos de revestimento protetor, como tintas e vernizes, e compõem os emulsificantes mono e diglicerídicos empregados no fabrico de pães, margarinas, sorvetes, produtos farmacêuticos e cosméticos. Essas parcelas de distribuição podem ser visualizadas na Figura 08.

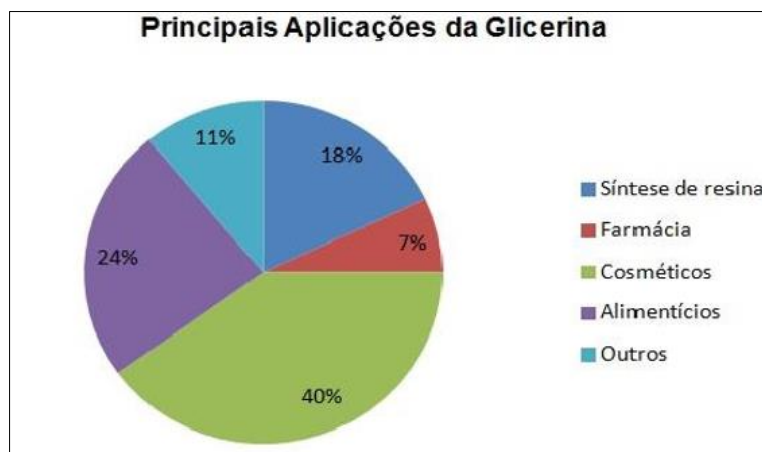


Figura 8 – Principais aplicações da Glicerina.

Fonte: Dourado, (2015).

A reação da glicerina com os ácidos nítrico e sulfúrico produz a nitroglicerina, líquido oleoso e incolor, de sabor picante, cujos vapores são tóxicos. Ao menor choque detona e produz grande volume de gases. Descoberta em 1846, não possuía aplicação, por não oferecer segurança. Em 1868, o cientista sueco Alfred Nobel descobriu que, empapada de material poroso, perdia muito da sensibilidade ao impacto. Chamou sua nova forma de dinamite, material que lhe deu fama e fortuna, esta canalizada para a instituição que distribui os prêmios Nobel. Na segunda metade do século XX, a glicerina passou a ser usada como componente de um ambiente químico protetor para o congelamento de globulina, esperma, córneas e outros tecidos (BIOMANIA, 2016).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Descrever a influência da temperatura de forno de queima nas propriedades físico-mecânicas em corpos de prova de cerâmica vermelha com 20% de glicerina bruta.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a resistência e flexão dos corpos de prova cerâmicos com a glicerina incorporada na massa argilosa
- Avaliar a diminuição da temperatura na queima dos corpos de prova cerâmicos com a glicerina incorporada na massa argilosa
- Usar glicerina na cerâmica.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa é de caráter experimental determinando-se como objetos de estudo a diminuição da temperatura de queima, tensão de ruptura à flexão e microestrutura da cerâmica, selecionando-se a porcentagem de resíduo em 20% de subproduto na massa argilosa, os corpos de prova serão queimados às temperaturas de 700 °C 800 °C 900 °C e tempo invariável de queima de 120 minutos.

Os locais de pesquisa foram o laboratório de materiais da construção e laboratório de química da Faculdade Presidente Antônio Carlos, Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Porto Nacional. Outro laboratório utilizado foi o de química do Instituto Federal do Tocantins, Porto Nacional para a utilização do forno tipo mufla.

Para realização deste trabalho foram utilizadas como matérias-primas uma massa argilosa empregada para fabricação de cerâmica vermelha procedente da fábrica Santo Expedito da região de Porto Nacional, Tocantins, e glicerina, resíduo do processo de biodiesel da indústria Granol situada no parque industrial de Porto Nacional.

Foram analisadas três temperaturas de queima da massa argilosa com 20 % em peso de glicerina bruta (700 °C 800 °C 900 °C).

4.1. MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Balança digital analítica da marca BEL modelo MARK MS 202;
- Estufa 0 até 300°C da marca DeLeo sem especificação de modelo;
- Conjunto de Peneira da marca Bertel modelo redondo com malha em aço quadriculada;
- Agitador mecânico de peneiras da marca SoloCap modelo 8X2;
- Vidrarias e utensílios de laboratório como béquer, pipeta, espátulas, almofariz, estilete, etc.;
- Prensa uniaxial para prensagem mecânica da marca Controls modelo1552087001;
- Molde de aço temperado com dimensões de 300x40x10 mm de fabricação própria;

- Argamassadeira elétrica da marca SoloCap sem especificação de modelo;
- Mufla com controle de temperatura de até 1300°C da marca XXXXX modelo XXX,

4.2. PROCEDIMENTOS

Os corpos de provas foram preparados seguindo os protocolos descritos por (ASTM 1972, BORLINI 2006, PINHEIRO 2008).

Para análise da temperatura de queima, foi escolhida a melhor resultado na incorporação de resíduos e feita a queima em forno elétrico de laboratório às temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C com taxa de aquecimento de 3 °C/min e isoterma de 120 min na temperatura de patamar. O resfriamento foi por convecção natural, desligando-se o forno.

O fluxograma mostrado na Figura 09 ilustra a interpretação dos resultados e preparação de novos corpos de prova.

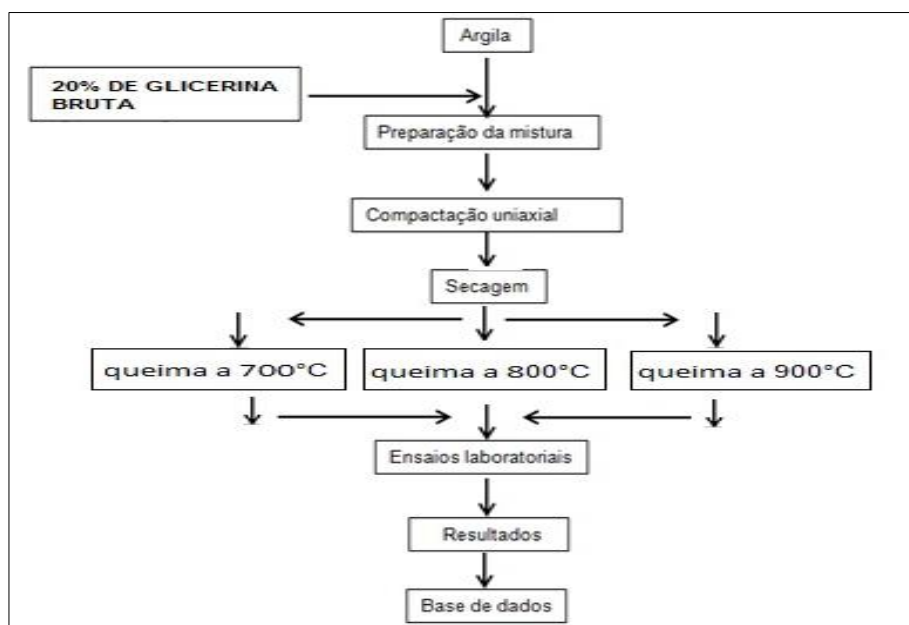


Figura 9 – Fluxograma das etapas de preparação dos corpos de provas, bem como dos ensaios laboratoriais para todas as temperaturas estudadas.

Fonte: Adaptado de Dourado, 2015.

Os corpos de prova foram moldados a partir da argila em estado natural depois de destorroadas e passadas em peneiradas mesh32. Para a pesagem foi utilizada uma balança eletrônica como mostra a figura 10 e para cada 1000g de argila foram usados 250g de glicerina e água até dar um ponto de plasticidade adequado para moldar manualmente os corpos de prova nos moldes como os mostrados na figura 11.

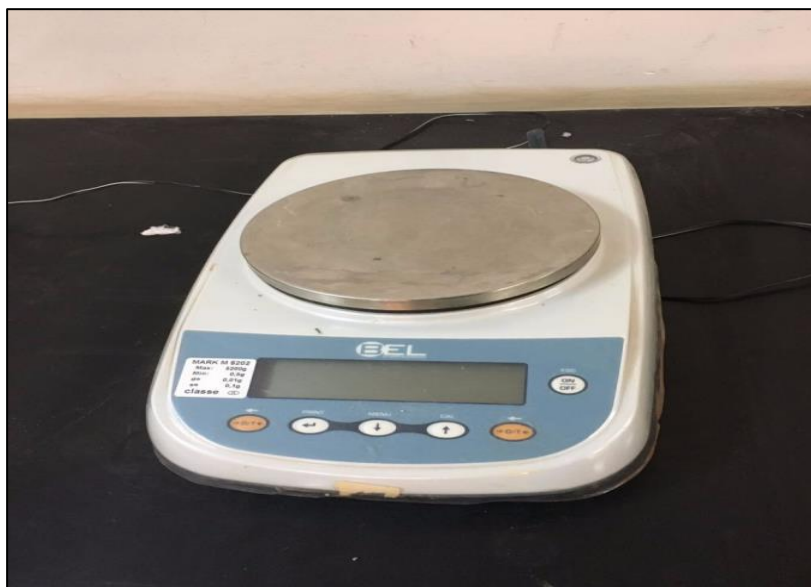


Figura 10 - Balança eletrônica

Fonte: Própria



Figura 11 - Estrutura em ferro para moldar e prensar os corpos de prova.

Fonte: Própria

Para se misturar a massa de argila foi utilizada uma misturadora elétrica mostrada na figura 12, até o ponto de homogeneidade e plasticidade ideal.



Figura 12 - Misturadora elétrica

Fonte: Própria

Após colocar a argila nos moldes, foi feita a compactação uniaxial na prensa hidráulica da marca CONTROL mostrada na figura 14 a uma pressão de 6Mpa. Assim que foi retirada da prensa notou-se alguma deformidade no molde de aço fazendo com que os corpos de prova não ficassem retos.

No processo de desforma os corpos de prova foram retirados manualmente com o auxílio de um estilete para facilitar o descolamento da peça e o molde. Como os corpos de prova não ficaram retos, também foram utilizados o estilete e uma régua pra tentar deixá-los o mais parecido possível uns com os outros.

Conforme os corpos de prova iam sendo moldados e “aparados” eram colocados em uma forma para iniciarem o processo de secagem. Como os corpos de prova foram colocados para secar empilhados em camadas dentro da forma e ficaram dentro do laboratório, houve uma secagem não uniforme, pois dentro do laboratório existe uma corrente de ar proveniente do ar condicionado que fez com que as peças que estavam na parte mais acima da forma tivessem uma contração na parte superior fazendo com que ficassem deformadas em forma de arco para cima e outras para o lado deixando assim algumas peças praticamente inutilizáveis.

Depois de feita a secagem durante 72 horas esses corpos de prova foram levados até o laboratório de química do Instituto Federal do Tocantins. Antes de se queimar as peças, elas foram separadas em quantidades iguais para cada temperatura de queima, e cada grupo desses foi colocado de uma só vez para queimar, garantindo assim uma maior homogeneidade no processo.

O resfriamento foi feito por convecção natural, desligando-se o forno e retirando os corpos de prova de dentro da mufla assim que possível para que não continuasse a queima. Para que se retirasse as peças do forno foi desligado o ar condicionado e foram fechadas as janelas para que não sofressem nenhum tipo de choque térmico e consequentemente uma trinca ou ruptura.

Após a queima os corpos de prova foram levados a um banho Maria (figura 13) em uma temperatura de 100°C durante um período de tempo de 120 minutos. Para execução do ensaio de absorção de água, como mostra a figura 13.

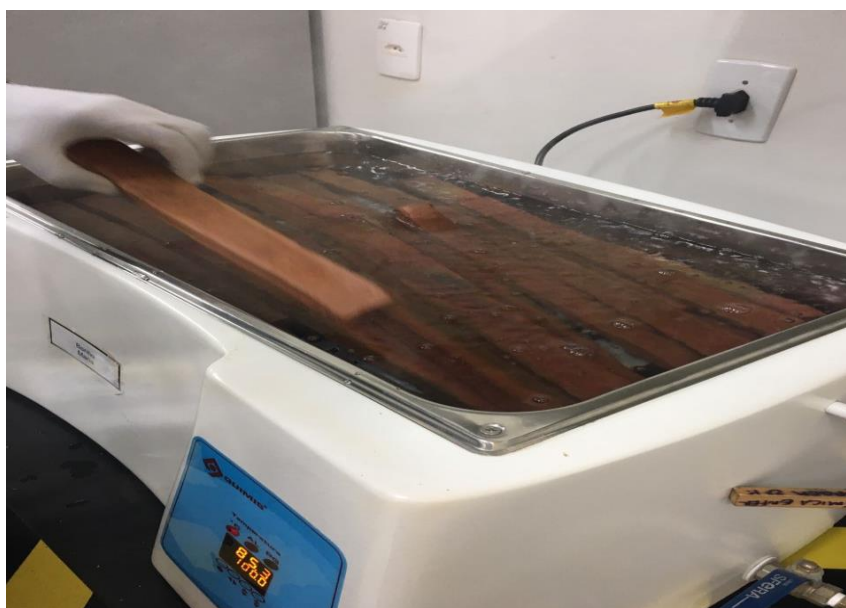


Figura 13 - Corpos de prova em banho Maria após a queima.

Fonte - Própria

Para os ensaios de resistência à flexão foi utilizado o assessorio para ruptura de flexão dos corpos de prova na prensa hidráulica da marca Controls (figura14).

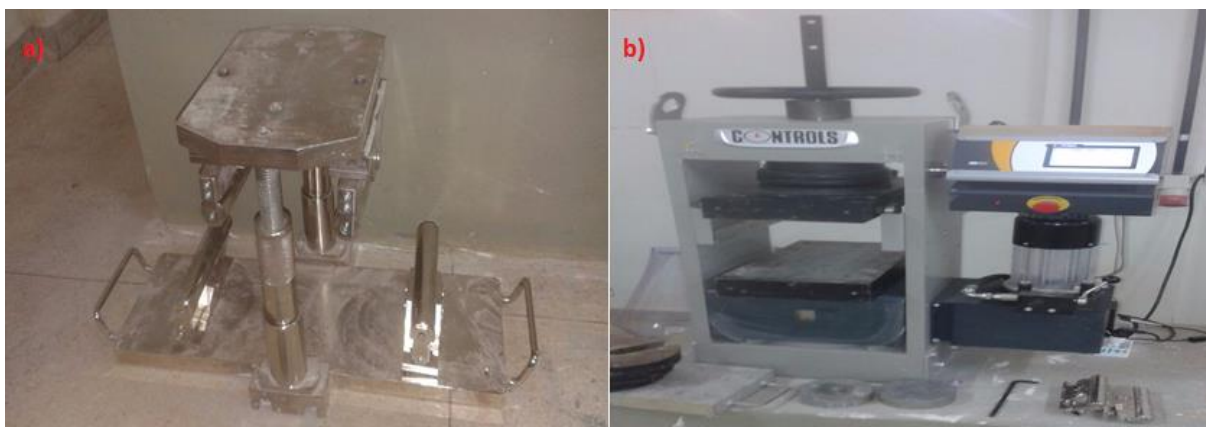


Figura 14 - a) - Acessório para teste de ruptura de flexão. b) - Prensa hidráulica.

Fonte: Própria

4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.3.1. Materiais Voláteis por Evaporação da Amostra

Coletou-se 2 gramas de uma amostra homogênea e transferiu-se para a cápsula, colocou-se em estufa ($105 \pm 2^\circ\text{C}$) 3hs (até peso constante). Colocou-se a cápsula em dissecador, esfriou-se até temperatura ambiente. Pesou-se o material residual.

$$\%MV = \frac{m(i) - m(f)}{m(i)} \cdot 100\%$$

Equação. 01.

Onde:

$m(i)$: massa inicial da amostra

$m(f)$: massa final do resíduo que ficou após evaporação.

4.3.2. Porcentagem de Sais Presente na Glicerina

Adicionou-se 14 ml de Glicerina Bruta no Tubo Falcons de 15 ml com tampa rosca graduado, adicionou-se 1 ml de H_2SO_4 concentrado, verificou-se se o pH está próximo de 2, agitou-se vigorosamente por 10 minutos, descansou por 1 hora, após este tempo foi centrifugado a 1000 rpm por 30 minutos. A quantificação dos sais foi obtida pela diferença entre o volume de amostra inicialmente e o volume final obtido de sais após centrifugação, conforme a equação 02:

$$\%SAIS = \frac{V_{SAIS}}{V_{GB}} . 100 \quad \text{Equação. 02.}$$

Onde:

V_{GB} : volume inicial de glicerina Bruta.

V_{SAIS} : volume de sais inorgânicos separados na centrifugação.

4.3.3. Porcentagem de Material Graxo.

Adicionou-se 14 ml de Glicerina Bruta no Tubo Falcons de 15 ml com tampa rosca graduados, adicionou-se 1 ml de H_2SO_4 concentrado, verificou-se se o pH está próximo de 2, agitou-se vigorosamente por 10 minutos, descansou por 1h, após este tempo centrifugou-se a 1000 rpm por 30 minutos. A quantificação do material graxo (MG) foi obtida pela diferença entre o volume de amostra inicialmente e o volume final da amostra após centrifugação, conforme a equação 03:

$$\%MG = \frac{V_{MG}}{V_{GB}} . 100 \quad \text{Equação. 03.}$$

Onde:

V_{GB} : volume inicial de glicerina Bruta.

V_{MG} : volume de material graxo separados na centrifugação, descartando a fase de sais.

4.3.4. Porcentagem de Cinzas.

Foram adicionados 5 g da glicerina bruta no cadinho de porcelana e em seguida foi colocado a combustão, após este processo o cadinho com o material residual foi colocado na mufla para obtenção das cinzas pelo aquecimento vigoroso à temperatura média de $700\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2hs. O cadinho contendo as cinzas foi

resfriado até atingir a temperatura ambiente e então determinado a massa final. O teor total de cinzas foi determinado segundo a equação 04:

$$\% \text{Cinzas} = \frac{m_f}{m_i} \cdot 100 \quad \text{Equação. 04.}$$

Onde:

m_i : Massa de Glicerina bruta utilizada no ensaio.

m_f : Massa de cinzas obtida após incineração;

4.4. MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Para determinação da massa específica aparente das peças secas e queimadas foram utilizados o método dimensional, de acordo com a norma ASTM C373-72.

Aplicando a equação 05:

$$p_a = \frac{m}{V} \quad \text{Equação. 05.}$$

Onde:

m = massa (g)

V = volume

As medidas de comprimento na unidade de medida centímetro (cm) foram determinadas com uma régua para determinar o volume do corpo de prova.

A massa do corpo de prova na unidade de medida gramas (g) foi determinada por meio de uma balança digital.

4.5. RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA

Para determinação da retração linear de queima dos corpos de prova depois de queimados foi utilizado o método dimensional. Como mostra a equação 06:

$$RL = \frac{L_s - l_q}{L_s} \cdot 100 \quad \text{Equação. 06.}$$

Onde:

L_s = Comprimento do corpo de prova seco (mm)

L_q = Comprimento do corpo de prova queimado (mm)

A retração linear pós queima, não é um parâmetro que tem sua classificação normalizada pelas Normas Brasileiras, mas é um importante parâmetro industrial. Quando a cerâmica se apresenta porosa é caracterizada por baixa retração, na ordem de 3%; quando a cerâmica se apresenta semi-porosa é caracterizado por uma retração de 4-6% e quando a cerâmica se apresenta gresificada é caracterizado por uma retração linear de 8%.

4.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA:

Para a determinação da absorção de água dos corpos de prova foi utilizado o método de acordo com a norma ASTM C373-72¹⁵. Aplicando a equação 07:

$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad \text{Equação. 07.}$$

Onde:

m_s = massa seca do corpo de prova queimado (g)

m_u = massa saturado em umidade do corpo de prova queimado (mm)

Foi determinada a massa dos corpos de prova antes do experimento, imediatamente os corpos de prova foram colocados em água destilada, mantidos à temperatura de 100°C por 2 horas, e o sistema foi resfriado até temperatura ambiente, após o resfriamento, os corpos de prova foram retirados um a um, retirando o excesso de água superficial e determinando novamente a massa.

4.7. CÁLCULOS

Os resultados foram avaliados com ajudas de métodos estatístico do tipo descritivo simples com uso de gráficos e tabelas, feitos através do Excel.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste projeto foi estudada a influência na temperatura de queima da cerâmica vermelha com incorporação da glicerina bruta proveniente da fábrica de biodiesel (GRANOL) na cidade de Porto Nacional - TO onde se verificou as propriedades físicas e mecânicas. Durante as análises da glicerina foi constatada a presença de impurezas voláteis pelo método de teste de evaporação de amostra, aferindo cerca de 15% de voláteis, sendo a água encontrada em maior quantidade e uma pequena porcentagem de metanol que não foi determinada.

Outros testes foram feitos como o de acidificação da glicerina onde se determinou 1% de material graxo em sua composição, não contendo sais dissolvidos na glicerina. Outro ensaio realizado foi o de cinza, onde o valor obtido é inferior a 0,01% significando a ausência de cinza.

Foram feitos 10 corpos de prova para cada temperatura, entretanto durante a realização dos testes, foi verificado em alguns corpos de prova fissuras e rachaduras podendo assim influenciar nos resultados, tendo em vista tal imperfeições, os mesmos foram retirados para não afetar os resultados finais. Foram retiradas 4 peças de cada temperatura, sobrando assim 6 para realizar os testes restantes.

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos para massa específica aparente antes da queima e após a queima com as temperaturas de 700, 800 e 900°C e seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 10- Tabela de massa específica aparente antes e após a queima.

Temperatura de queima	Corpo de prova	Massa específica aparente antes da queima (g/cm ³)	Massa específica aparente após a queima (g/cm ³)
700	1	2,0	1,5
	2	1,5	1,3
	4	1,6	1,3
	6	1,5	1,6
	7	1,9	1,7
	9	1,6	1,4
	Media	1,7	1,5
	Desvio padrão	0,21	0,16
	Coeficiente de variação	0,13	0,11
800	1	1,80	1,6
	2	1,60	1,6
	3	1,90	1,7
	8	1,40	1,6
	9	2,00	2,0
	11	2,00	2,0
	Media	1,8	1,8
	Desvio padrão	0,24	0,20
	Coeficiente de variação	0,13	0,11
900	4	1,7	1,5
	6	1,8	1,7
	8	1,9	1,6
	9	1,8	1,6
	10	1,7	1,6
	11	1,8	1,6
	Media	1,8	1,6
	Desvio padrão	0,08	0,06
	Coeficiente de variação	0,04	0,04

Fonte: Própria

Como mostrado na figura 19, pode-se observar o aumento do valor da massa específica de acordo com a variação da temperatura de 700, 800 e 900°C.

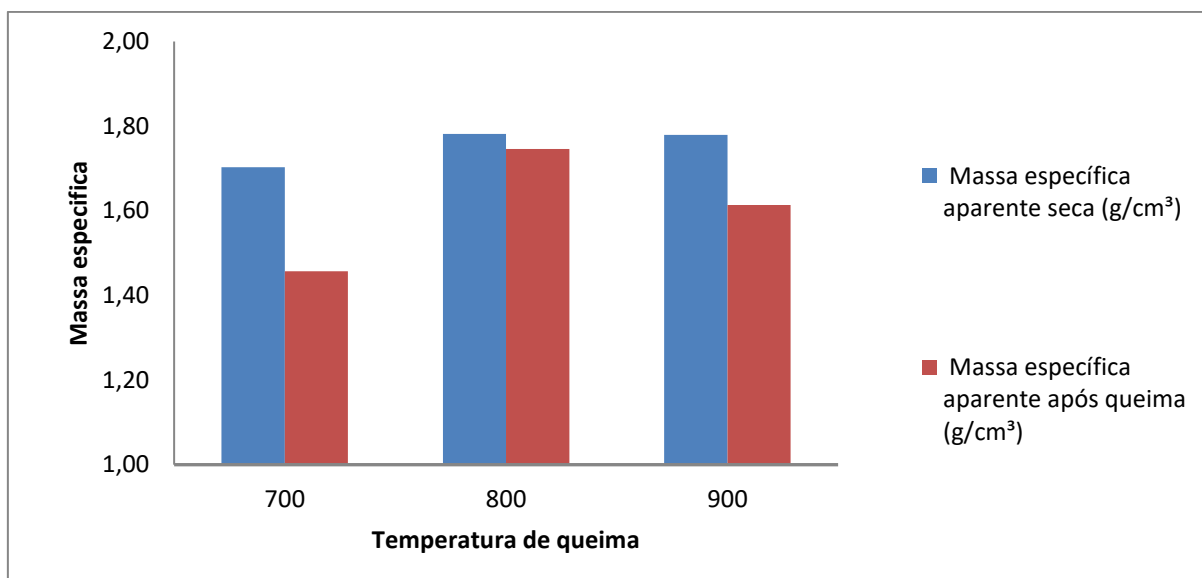


Figura 15 - Gráfico de massa específica aparente a seco e após queima a temperaturas de 700, 800 e 900°C do corpo de prova cerâmico em função da temperatura.

Fonte: Própria

Esse acréscimo acontece devido à retração linear e também ao fechamento dos poros com a evaporação da água durante a queima, tornando os corpos de prova mais densos e compactos.

Tabela 11- Teste *T*-student e teste de Fisher para massa específica aparente

Teste T-student			Teste de Fisher		
	antes da queima	após a queima		antes da queima	após a queima
comparando 700 com 800	0,33	0,02	comparando 700 com 800	0,80	0,69
comparando 800 com 900	1,00	0,14	comparando 800 com 900	0,02	0,03
comparando 700 com 900	0,41	0,16	comparando 700 com 900	0,04	0,06

Fonte: Própria

Quando comparamos as médias deles pelo método de teste paramétrico de *T*-student com índice de significância (α) de 5% obtemos os valores menores que 1, significando que estão dentro da zona de aceitação de igualdade, isto quer dizer que estatisticamente que existe uma igualdade na média da massa específica.

A tabela 3 apresenta todos os resultados obtidos para a retração linear para as temperaturas de 700, 800 e 900°C e seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 12- Tabela de retração linear

Temperatura de queima	Corpo de prova	Retração linear de queima (%)
700	1	4,9
	2	3,7
	4	4,2
	6	2,7
	7	3,1
	9	5,0
	Media	3,9
	Desvio padrão	0,94
	Coeficiente de variação	0,24
800	1	9,4
	2	11,4
	3	9,4
	8	8,6
	9	10,3
	11	10,0
	Media	9,9
	Desvio padrão	0,96
	Coeficiente de variação	0,10
900	4	10,7
	6	11,6
	8	10,5
	9	11,4
	10	11,8
	11	10,2
	Media	11,0
	Desvio padrão	0,65
	Coeficiente de variação	0,06

Fonte: Própria

A figura 21 mostra o gráfico da retração linear do corpo de prova cerâmico em relação à temperatura. Durante a queima as partículas ou os corpos de prova porosos sofrem modificações até chegar num estado de máxima densificação, reduzindo a porosidade do material.

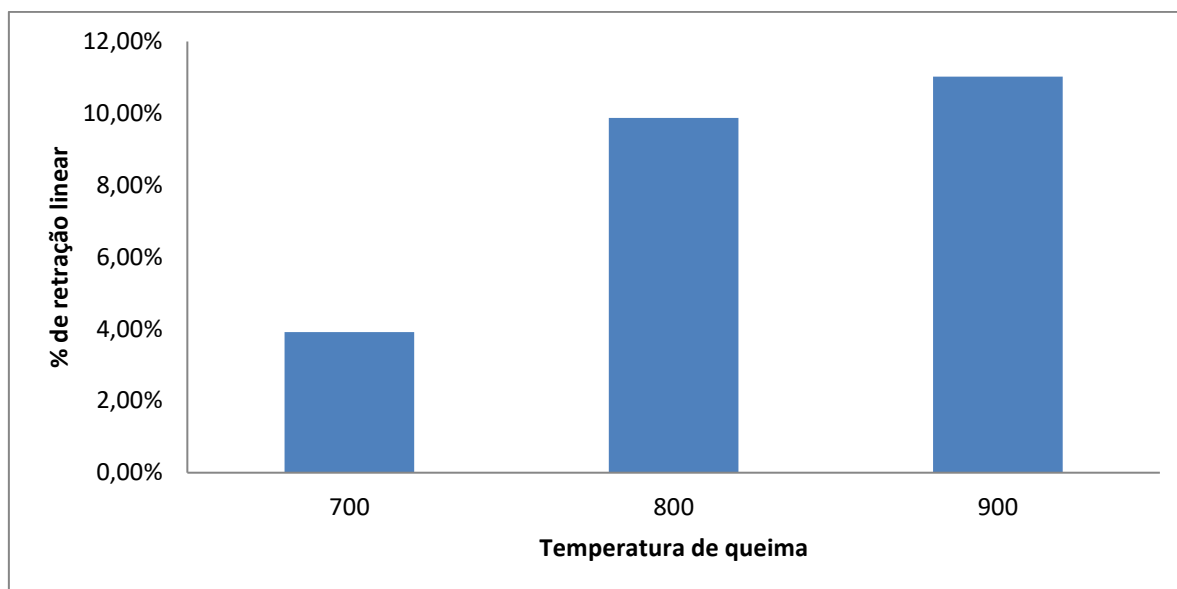


Figura 16 - Gráfico da retração linear dos corpos de prova cerâmicos após a queima em função das temperaturas de 700, 800 e 900°C.

Fonte: Própria

A Retração Linear é justamente quanto a peça perde tamanho durante a queima, concluindo assim que quanto maior for a temperatura de queima do material menor será sua peça ao final do processo. Consequência da sinterização que é o agrupamento das moléculas que compõem a cerâmica de acordo com o aumento da temperatura, estando sempre abaixo do ponto de fusão do material. A retração não acontece apenas em uma dimensão do corpo de prova, mas sim, em todas as dimensões, ou seja, tem-se uma retração volumétrica.

Tabela 13- Teste *T-student* e teste de Fisher para retração linear

Teste T-student		Teste de Fisher	
comparando 700 com 800	0,00	comparando 700 com 800	0,97
comparando 800 com 900	0,03	comparando 800 com 900	0,42
comparando 700 com 900	0,00	comparando 700 com 900	0,44

Fonte: Própria

Quando comparamos as medias deles pelo método de teste paramétrico de *T-student* com índice de significância (α) de 5% obtemos os valores próximos de 0, significando que estão dentro da zona de aceitação de igualdade, isto quer dizer que estatisticamente que existe uma igualdade na média da retração linear.

A tabela 5 apresenta todos os resultados de absorção de água obtidos para a temperatura de 700, 800 e 900°C e seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 14- Tabela de absorção de água.

Temperatura de queima	Corpo de prova	Absorção de água (%)
700	1	29,3
	2	34,5
	4	25,7
	6	34,6
	7	28,6
	9	26,8
	Media	29,9
	Desvio padrão	3,80
	Coeficiente de variação	0,13
800	1	17,0
	2	22,2
	3	23,8
	8	16,0
	9	18,6
	11	17,2
	Media	19,1
	Desvio padrão	3,15
	Coeficiente de variação	0,16
900	4	14,9
	6	15,1
	8	13,5
	9	15,8
	10	17,0
	11	8,6
	Media	14,2
	Desvio padrão	2,97
	Coeficiente de variação	0,21

Fonte: Própria

O estudo de correlação da porosidade com a retração linear não tem em conta a diminuição do diâmetro dos poros e sim a diminuição da quantidade de poros pelo que podemos ter corpos de provas com uma quantidade elevada de poros de diâmetros pequenos e uma retração linear significativa que pode ser analisada com o ensaio de absorção de água da massa cerâmica em função da temperatura de queima.

Observa-se na figura 17 a diminuição da porcentagem da absorção de água de acordo com o aumento da temperatura.

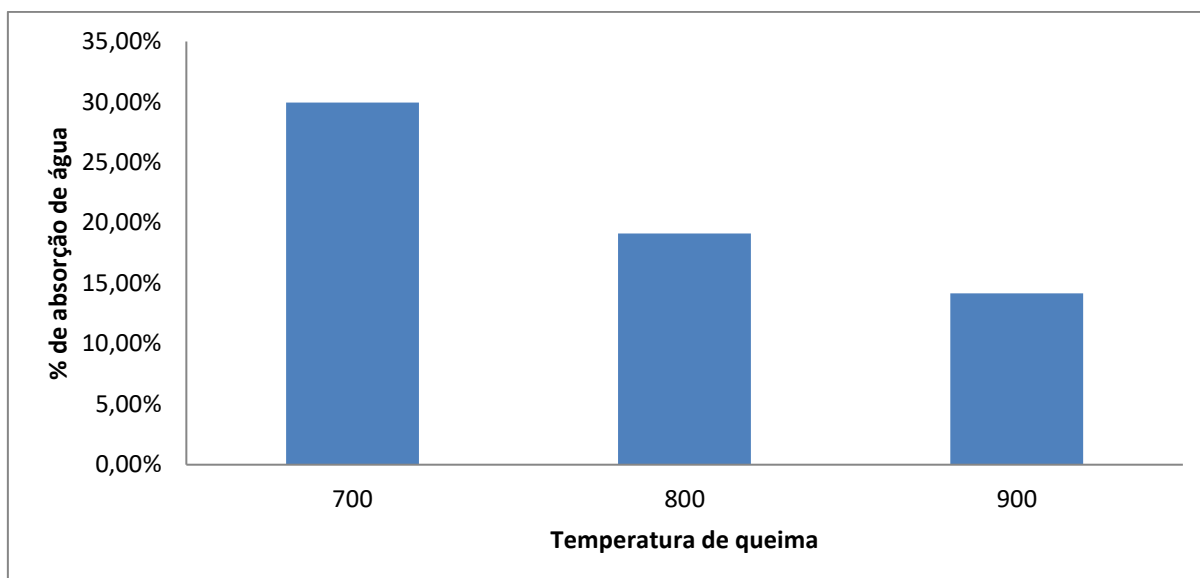


Figura 17 - Gráfico do teste de absorção de água nos corpos de prova em relação ao aumento da temperatura.

Fonte: Própria

Pelo fato de os corpos de prova de cerâmica se tornarem mais densos e menos porosos com o acréscimo da temperatura, tendendo a absorver menos água. Isso acontece devido ao fechamento dos poros do material, este teste indica a presença insuficiente de poros para uma boa absorção de água.

Tabela 15- Teste *T-student* e teste de Fisher para absorção de água

Teste T-student		Teste de Fisher	
comparando 700 com 800	0,00	comparando 700 com 800	0,69
comparando 800 com 900	0,03	comparando 800 com 900	0,90
comparando 700 com 900	0,00	comparando 700 com 900	0,60

Fonte: Própria

Quando comparamos as medias deles pelo método de teste paramétrico de *T-student* com índice de significância (α) de 5% obtemos os valores próximos de 0, significando que estão dentro da zona de aceitação de igualdade, isto quer dizer que estatisticamente que existe uma igualdade na média da absorção de água.

A tabela 7 apresenta todos os resultados de resistência mecânica a flexão obtida para a temperatura de 700, 800 e 900°C e seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 16-*Tabela de resistência à flexão*

Temperatura de queima	Corpo de prova	Resistência à Flexão (Mpa)
700	1	0,4
	2	0,3
	4	0,6
	6	0,4
	7	0,4
	9	0,5
	Media	0,4
	Desvio padrão	0,10
	Coeficiente de variação	0,24
800	1	0,5
	2	0,5
	3	0,4
	8	0,3
	9	0,3
	11	0,5
	Media	0,4
	Desvio padrão	0,10
	Coeficiente de variação	0,24
900	4	0,6
	6	0,6
	8	0,6
	9	0,8
	10	0,6
	11	0,6
	Media	0,6
	Desvio padrão	0,08
	Coeficiente de variação	0,13

Fonte: Própria

Na figura 18 nota-se que a resistência a flexão para as temperaturas de 700 e 800°C é a mesma, e isto ocorre devido a deformidade dos corpos de prova (figura 19), entretanto, essa pequena diferença está dentro dos limites do desvio padrão, não acusando realmente uma queda. Observa-se também que para a temperatura mais alta a resistência teve um leve aumento, justificado pela diminuição da porosidade do corpo de prova.

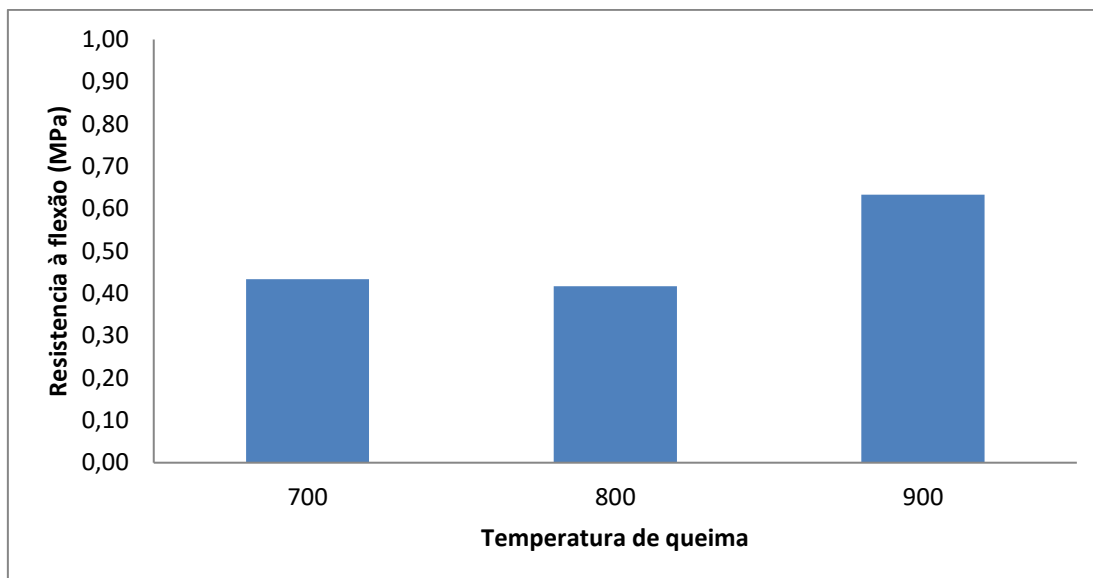


Figura 18 - Gráfico da resistência à flexão após queima da massa cerâmica em função da temperatura de 700, 800 e 900°C.

Fonte: Própria



Figura 19 - Corpos de prova com ligeira deformidade

Fonte: Própria

O resultado apresentado não foi totalmente satisfatório pelo fato de que a média da massa específica dos corpos de prova queimados a 800°C foi maior do que a dos corpos de 900°C, sendo assim contraditório com a teoria.

Isso pode ter ocorrido devido a medição das cerâmicas que foi feita com régua, tornando assim os valores das áreas dos corpos de prova não precisos e

também pela deformidade dos mesmos, como mostra a figura 19. Porém essa ligeira alteração está dentro do desvio padrão permitido.

Tabela 17 - Teste *T-student* e teste de Fisher para resistência à flexão.

Teste T-student		Teste de Fisher	
comparando 700 com 800	0,79	comparando 700 com 800	0,92
comparando 800 com 900	0,02	comparando 800 com 900	0,69
comparando 700 com 900	0,02	comparando 700 com 900	0,62

Fonte: Própria

Quando comparamos as medias deles pelo método de teste paramétrico de *T-student* com índice de significância (α) de 5% obtemos os valores menores que 1, significando que estão dentro da zona de aceitação de igualdade, isto quer dizer que estatisticamente que existe uma igualdade na média da retração.

A tabela 9 mostra as médias e desvios padrões de todos os testes realizados.

Tabela 18-Tabela de médias e desvios padrões.

Temperatura de queima	Antes da queima		Após a queima									
	Massa específica aparente seca (g/cm³)	desvio padrão da Massa específica aparente (g/cm³)	Massa específica aparente após queima (g/cm³)	desvio padrão da Massa específica aparente (g/cm³)	Media da Retração linear de queima (%)	Desvio padrão da Retração linear de queima (%)	Absorção de água (%)	Desvio padrão da Absorção de água (%)	Resistência à Compressão (Mpa)	Desvio padrão da Resistência à Compressão (Mpa)	Retração volumétrica	Desvio padrão da retração volumétrica
700	1,70	0,21	1,46	0,15	3,91%	0,009	29,94%	0,038	0,43	0,10	21,97%	0,06
800	1,78	0,24	1,75	0,15	9,88%	0,011	19,13%	0,031	0,42	0,10	31,33%	0,07
900	1,78	0,06	1,61	0,07	11,02%	0,006	14,16%	0,030	0,63	0,08	24,91%	0,05

Fonte- Própria

Depois de feito o teste de flexão e ruptura dos corpos de prova, nota-se uma coloração escura em seu interior como podemos ver na figura 20, essa coloração deve-se ao processo de sinterização da massa cerâmica. Nota-se também a diferença de coloração para cada temperatura, quanto mais alta a temperatura maior o processo de sinterização das peças.

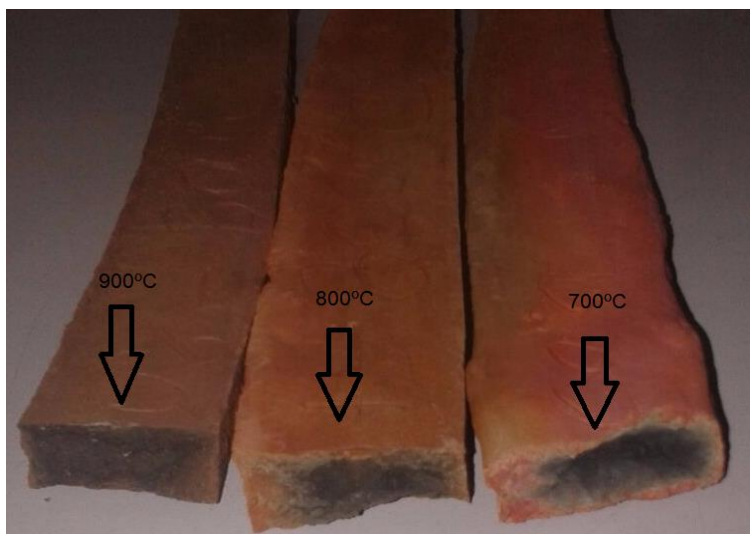


Figura 20 - Corpos de prova depois da ruptura.

Fonte: Própria

6. CONCLUSÃO

Com base nos experimentos realizados pode-se concluir que, foi possível observar que a introdução da glicerina bruta na fabricação da cerâmica vermelha pode ser um caminho a ser seguido pois vai de encontro com a proposta do estudo, pois os resultados estatisticamente são satisfatórios em temperaturas mais baixas, como era esperado.

Com relação à queima, pode haver influência na eficiência energética dos fornos, consequentemente, a quantidade de material combustível necessária para queima diminui viabilizando economicamente o uso da glicerina em temperaturas mais baixas. Então podemos dizer que estatisticamente, que não há diferença entre a massa cerâmica queimada a 700 ou 900°C.

Os modos como os corpos de prova foram fabricados pode ter influenciado nos resultados, pois a maioria dos corpos com glicerina se encontrava deformados, impossibilitando um maior desempenho em relação aos resultados de resistência à flexão. Resultados estes que estão todos dentro do limite do desvio padrão.

Conclui-se assim que a adição de glicerina pode vir a ser um caminho para a utilização da glicerina proveniente do biodiesel.

Como sugestão para futuros estudos podem verificar a quantidade de água a ser misturada na massa e também a parte de moldagem dos corpos de prova, uma vez que na cerâmica a massa passa por uma extrusora onde é feita a prensagem com valores bem altos e neste trabalho foi feito manualmente a moldagem e posteriormente uma prensagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.R.F., HOLANDA, F.S.R., “**Reciclagem de Borra Oleosa através da Incorporação em Blocos Cerâmicos de Vedação**”, Cerâmica Industrial, v. 10, n. 3, pp. 41-46, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS –ASTM, **Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials**, C 674-77, 1977.

ANÔNIMO, NBR 10004: **Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR10004: Classificação de Resíduos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7181: Solo: Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ASTM - American Society for Testing and Materials, **Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products**, C 373-72, 1972, USA.

BARBA, A. **Materias Primas para laFabricación de Soportes de Baldosas Cerámicas**.Castellón, Espanha: AICE, 1997.

BIOMANIA. Glicerina,2016 Disponível em:

<<http://www.biomania.com.br/bio/?pg=artigo&cod=2693>. Acesso em: 19 de out. 2016.

CALLISTER W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. John Wiley e Sons, Inc. NewYork, NY. 7ªedição. P.1-975. 2007.Disponível

em:<<http://jpkc.fudan.edu.cn/picture/article/255/ba/c4/ceea01074b18aa612e67c5c8ed3d/14e79255-e194-4093-98f3-c1317c2adc73.pdf>> Acessado em 12/10/2015

DIAS, C. A. Ch. M. **Reciclagem de lama de alto-forno em cerâmica vermelha**.

Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense ,Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2011.)

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Plano de Ação para Adequação Ambiental e Energética das Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado de Minas Gerais**. Minas Gerais: FEAM, 2012.

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Gestão Ambiental – Renovação de licença ambiental**. Minas Gerais: FIEMG, 2013. Disponível em <<http://www5.fiemg.com.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=37325&TabId=13676>>. Acessado em 19 set. 2016.

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Licenciamento Ambiental – Orientações ao empreendedor**. Minas Gerais: FIEMG, 2013. Disponível em <<http://www5.fiemg.com.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=34382&TabId=13676>>. Acessado em 19 set. 2016.

GRIM, R. E. **Applied clay mineralogy**. New York: McGraw-Hill, 422 p., 1962

KINGERY, W. D. **Introduction to Ceramics**. John Wiley e Sons, N. Y., 1960

KRAUSE, L. C.. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal**. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação, UFRS. Rio Grande do Sul, UFRS, 2008.

LEIRAS, A.. **A cadeia produtiva de biodiesel: uma avaliação econômica para o caso da Bahia**. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, PUC-Rio. Rio de Janeiro, PUC-Rio, 2006.

LORENA, S. Glicerina, 2014. Disponível em:< <http://www.infoescola.com/compostos-quimicos/glicerina/>>. Acesso em: 16 de out. 2016.

MOTA, C. J. A.; PESTANA, C. F. M.. **Co-produtos da produção de biodiesel**. Revista Virtual de Química, v. 3, n. 5, p. 416-425, out., 2011.

MOTTA, J. F. M.; Zanardo, A. e Júnior, M. C. (2001) **As matérias primas cerâmicas: Parte 1- O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos**. Cerâmica Industrial, v.6, n.2, p.28-38.

PINHEIRO, B.C.A.; Holanda, J. N. F. **Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha**. Cerâmica v56 p237-243 (2010)

RETRAÇÃOin Dicionário infopédia da Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2016. [consult. 2016-10-20 02:00:13].

Disponível na Internet: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/retração>.>Acesso em: 20 de out. 2016.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**, V. 1, Ed. EdgardBlücher Ltda., S. Paulo, SP (1989).

SCHRODER, A.; SUDEKUM, K.H. **Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants**. In Proc. 10th InternationalRapeseedCongress. Canberra, Australia, 1999

SOUZA, G.P., SANTOS, R.S., HOLANDA, J.N.F., “**Recycling of a Petroleum Waste in Ceramic Bodies**”, Materials Science Forum, v. 418, pp.743-747, 2003

VEDANA, U. **Glicerina e suas aplicações**, 2008. Disponível em:<<https://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2008/glicerina-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 19 de out. 2016.

VIEIRA, C.M.F., MONTEIRO, S.N. **Cerâmica Argilosa Incorporada com Resíduo Oleoso Proveniente do Setor Petrolífero**, Revista Matéria, v. 11, n. 3, pp. 217–222, 2006.

8. APÊNDICE

Anexo A

20% de Glicerina																		
Temperatura de queima	Corpo de prova	Antes da queima					Após a queima							Volumem a seco	Volumem após queima	Retração volumétrica		
		Massa (g)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Massa específica aparente (g/cm³)	Massa (g)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Massa específica aparente (g/cm³)	Retração linear de queima (%)	Massa umida (g)				Absorção de água (%)	Resistência à Flexão (Mpa)
700	1	295,30	32,60	3,00	1,50	2,0	177,82	31	2,8	1,4	1,46	4,91%	230	29,34%	0,4	146,7	121,5	17,16%
	2	275,30	32,70	3,30	1,70	1,5	185,84	31,5	3,1	1,5	1,27	3,67%	250	34,52%	0,3	183,4	146,5	20,15%
	3	260,90	33,00	3,00	1,60	1,6	175,75	31,4	2,8	1,4	1,43	4,85%	210	19,49%	0,4	158,4	123,1	22,29%
	4	245,10	33,40	3,00	1,50	1,6	167,04	32	2,6	1,5	1,34	4,19%	210	25,72%	0,6	150,3	124,8	16,97%
	5	251,30	33,10	3,10	1,60	1,5	170,86	32,2	2,6	1,3	1,57	2,72%	230	34,61%	0,4	164,2	108,8	33,71%
	6	260,50	32,50	3,00	1,40	1,9	178,86	31,5	2,8	1,2	1,69	3,08%	230	28,59%	0,4	136,5	105,8	22,46%
	7	292,80	32,20	3,10	1,60	1,8	199,78	31,3	3	1,5	1,42	2,80%	250	25,14%	0,5	159,7	140,9	11,81%
	8	289,40	32,60	3,20	1,70	1,6	197,10	31	3	1,5	1,41	4,91%	250	26,84%	0,5	177,3	139,5	21,34%
	9	271,70	33,00	3,00	1,50	1,8	186,01	32,4	2,8	1,3	1,58	1,82%	240	29,03%	0,4	148,5	117,9	20,58%
	10	271,30	33,40	3,00	1,50	1,8	184,74	32,9	2,7	1,4	1,49	1,50%	220	19,09%	0,5	150,3	124,4	17,26%
800	1	290,30	32,00	3,30	1,50	1,8	196,67	29	3	1,4	1,61	9,38%	230	16,95%	0,5	158,4	121,8	23,11%
	2	242,80	33,50	2,90	1,60	1,6	163,71	29,6	2,6	1,3	1,64	11,64%	200	22,17%	0,5	155,4	100,0	35,64%
	3	289,00	32,00	3,00	1,60	1,9	193,81	29	2,8	1,4	1,70	9,38%	240	23,83%	0,4	153,6	113,7	25,99%
	4	285,50	33,00	2,70	1,50	2,1	164,62	29,8	2,5	1,4	1,58	9,70%	220	33,64%	0,4	133,7	104,3	21,96%
	5	255,10	32,30	3,10	1,50	1,7	174,19	29,8	2,9	1,3	1,55	7,74%	230	32,04%	0,4	150,2	112,3	25,20%
	6	261,30	32,70	3,50	1,60	1,4	172,35	29,9	2,7	1,3	1,64	8,56%	200	16,04%	0,3	183,1	104,9	42,69%
	7	249,00	33,00	2,90	1,30	2,0	168,66	29,6	2,7	1,1	1,92	10,30%	200	18,58%	0,3	124,4	87,9	29,34%
	8	264,00	33,00	3,10	1,30	2,0	179,16	29,7	2,8	1,1	1,96	10,00%	210	17,21%	0,5	133,0	91,5	31,22%
900	1	250,50	32,80	2,60	1,50	2,0	169,22	28,6	2,5	1,3	1,82	12,80%	190	12,28%	0,3	127,9	93,0	27,34%
	2	296,70	32,60	3,00	1,50	2,0	189,70	29,8	2,9	1,3	1,69	8,59%	240	26,52%	0,6	146,7	112,3	23,42%
	3	301,50	32,00	3,00	1,60	2,0	202,84	28,2	2,7	1,5	1,78	11,88%	230	13,39%	0,4	153,6	114,2	25,64%
	4	256,90	32,80	3,00	1,50	1,7	174,03	29,3	2,8	1,4	1,52	10,67%	200	14,92%	6,0	147,6	114,9	22,18%
	5	269,40	32,80	3,00	1,50	1,8	182,38	29	2,8	1,3	1,73	11,59%	210	15,14%	0,6	147,6	105,6	28,48%
	6	255,60	32,30	3,10	1,50	1,7	174,36	29,9	2,6	1,4	1,60	7,43%	210	20,44%	0,7	150,2	108,8	27,54%
	7	253,60	32,30	3,00	1,40	1,9	176,28	28,9	3	1,3	1,56	10,53%	200	13,46%	0,6	135,7	112,7	16,92%
	8	281,60	32,50	3,30	1,50	1,8	189,95	28,8	3,1	1,3	1,64	11,38%	220	15,82%	0,8	160,9	116,1	27,85%
	9	291,10	32,30	3,50	1,50	1,7	196,53	28,5	3	1,4	1,64	11,76%	230	17,03%	0,6	169,6	119,7	29,41%
	10	257,50	32,30	3,00	1,50	1,8	174,99	29	2,7	1,4	1,60	10,22%	190	8,58%	0,6	145,4	109,6	24,58%

