



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
*ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

**KELLSO HENRIK DO NASCIMENTO CIRQUEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA DA REGIÃO DE GURUPI -  
TOCANTINS**

**Palmas - TO**

**2015/2**

**KELLSO HENRRIK DO NASCIMENTO CIRQUEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA DA REGIÃO DE GURUPI -  
TOCANTINS**

Monografia apresentada como parte das exigências do curso Superior de Engenharia de Minas, da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), para obtenção do título de Engenheiro de Minas orientado pelo Professor Mestre Daniel Padilha Setti.

**Palmas - TO  
2015/2**

KELLSO HENRRIK DO NASCIMENTO CIRQUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA DA REGIÃO DE GURUPI -  
TOCANTINS

Monografia apresentada como parte das exigências do curso Superior de Engenharia de Minas, da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), para obtenção do título de Engenheiro de Minas orientado pelo Professor Mestre Daniel Padilha Setti.

Aprovada em 25 de Novembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. e Orientador M.Sc. Daniel Padilha Setti  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. M. Sc. Daniel dos Santos Costa  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Esp. Valério Sousa Lima  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas – TO**

**2015/2**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1	Depósito de argila em âmbito mundial.....	4
2.1.1	Depósito de Argila em Âmbito Brasileiro.....	5
2.1.2	Depósito de Argila em Âmbito Tocantinenses .....	5
2.2	Preparações das amostras .....	6
2.2.1	Secagem da Amostra .....	7
2.2.2	Cominuição.....	7
2.2.3	Classificação Granulométrica .....	8
2.2.4	Homogeneização e Quarteamento .....	9
2.2.5	Preparação das Pastilhas.....	9
2.3	Aplicação dos materiais cerâmicos.....	10
2.4	Estudo das propriedades físicas e químicas.....	11
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1	Secagem da amostra.....	16
3.2	Cominuição .....	16
3.3	Classificação granulométrica .....	16
3.4	Confecção de pastilhas.....	16
3.5	Sinterização .....	17
3.5.1	Temperatura de pré aquecimento.....	17
3.5.2	Rampa de Aquecimento .....	17
3.6	Retração linear.....	18
3.7	Absorção de água.....	18
3.8	Perda de massa.....	19
3.9	Ensaio de flexibilidade .....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
4.1	Classificação.....	20
4.2	Sinterização .....	20
4.3	Retração linear.....	24
4.4	Absorção de água.....	25
4.5	Perda de massa.....	26
4.6	Ensaio de flexibilidade .....	27
4.7	Análise dos dados.....	27
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>

## RESUMO

CIRQUEIRA, Kellso Henrik do Nascimento. **Caracterização da argila da região de Gurupi-TO**. 2015. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a caracterização da argila cerâmica caulínica, a qual constitui aspecto de grande importância na seleção adequada de matéria-prima, com o propósito de garantir a qualidade produtiva, podendo ser observada por meio de análises físicas realizadas em laboratório, de acordo com as normas vigentes. Portanto, foi utilizada argila cerâmica coletada da região de Gurupi no Estado do Tocantins. Com as análises de resultados obtido foi possível mostrar que a composição da argila que apresenta uma alta capacidade de coesão entre as partículas, obtendo alta densidade durante as etapas de fabricação das pastilhas, atendendo os padrões de qualidade aos padrões de qualidade. Argilas caulínicas possuem uma grande utilização na indústria cerâmica; mostrou uma coloração clara após a sinterização. Os métodos de caracterização trabalhados foram absorção de água, com esse processo foi possível observar qual das granulometrias absorvia a maior quantidade de água, retração linear, observa-se após a sinterização as pastilhas que mais retraiu, perda de massa, pesando as pastilhas foi possível obter a quantidade de perda, ensaios de flexibilidade, pode ser feito para obter a resistências sobre as pastilhas. Para realização desses testes foram utilizados 3 pontos de corpos sinterizados a 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C. Sendo assim as temperaturas elevadas acima de 1000°C apresentaram os melhores resultados. Podendo ser utilizada para fabricação de materiais cerâmicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argila, Caracterização tecnológica, materiais cerâmicos.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composições de algumas cerâmicas de silicatos. ....	11
Tabela 2: medias das pastilhas de antes e após a sinterização e porcentagem de perda após sinterizadas. ....	22
Tabela 3: Porcentagem retração linear das pastilhas. ....	25
Tabela 4: Porcentagem de absorção de água das pastilhas.....	25
Tabela 5: Perda de massa das pastilhas. ....	26
Tabela 6: Média dos ensaios de flexibilidade.....	27
Tabela 7: Analise dos dados de 50# e 100# (mesh). ....	28
Tabela 8: Analises dos dados das pastilhas de 50# e 100# em 2 e 3 Toneladas. ....	30

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura química da argila silicatada de silício.....	13
Figura 2: Estrutura química da argila silicatada de alumínio. ....	13
Figura 3: Representação esquemática das argilas do grupo da caulinita .....	14
Figura 4: Propriedade de materiais. ....	15

## LISTA DE ABREVIATURAS

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

# - mesh

N – Newton

CV – Coeficiente de Variância

S – Desvio Padrão

## 1 INTRODUÇÃO

Os maiores produtores e vendedores mundiais da argila estão na América do Norte, são os Estados Unidos que contêm 19% dessa estimativa. O Brasil está em segundo lugar com a produtividade beneficiada de 7% e Reino Unido com 6%.

Vale ressaltar que no Brasil os principais depósitos de argilas localizam-se nos Estados do Amazonas, Pará e Amapá, sendo esses do tipo sedimentares. Já os demais de origem da alteração de pegmatitos como do intemperismo de granitos estão os Estados de Minas Gerais, Paraíba, São Paulo, Goiás, Tocantins, Santa Catarina e Paraná.

O principal método de extração do minério é por lavra a céu aberto. Faz-se o desmonte e em seguida transporta para o local onde fará o beneficiamento do minério. Como o processamento a seco é o mais simples, então acaba sendo o mais utilizado. Sendo assim, a parte inicial é a fragmentação do material através do britador, em seguida é conduzido para cominuição, por conseguinte o material é classificado pelas peneiras de classificação granulométrica.

Neste caso, o processo final do beneficiamento é para produção de refratários. Por isso, há a importância de aplicar ensaios laboratoriais como: absorção de água serve para saber qual granulometria absorveu a maior quantidade de água, retração linear o quanto retraiu a pastilhas após a sinterização, perda de massa observar a quantidade de massa a pastilha perdeu após serem sinterizadas, e ensaio de compressão para obter a resistência do material compactado. Logo, os resultados esperados desses testes são para saber a composição das amostras, resistência e a compacticidade.

O objetivo deste trabalho é mostrar através do processo de caracterização da argila, se o material argiloso coletado no município de Gurupi-TO, pode ser utilizado para fabricação de materiais cerâmicos, bem como toda metodologia realizada em laboratório, através de pequenas pastilhas de argila que foram confeccionadas será possível obter resultados no qual pode ser apresentado dados onde estará mostrando a aplicação e utilização do material, todo esse processo varia a temperatura de 900°C a 1200°C tendo elevação de 50°C entre elas, de acordo com os resultados obtido o que melhor se adequa a esse processo são nas temperaturas acima de 1100°C, com esses resultados esse material poderá ser utilizado para materiais cerâmicos sendo o de interesse previsto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Depósito de argila em âmbito mundial

De acordo com Dumont (2008), a argila localizada no Canadá ainda está abundante em material bruto com uma imensa variedade de aplicações e propriedades na mina em todo o país, exceto em Prince Edward Island, New Brunswick e Manitoba. Em relação a argila caulim a produção foi de 39,0 milhões de toneladas. Com isso, fizeram uma estimativa em 2008 do valor arrecadado de exportação que foi de 21,9 milhões, ou seja, equivalente a 75.490 toneladas. Só o consumo pelo próprio país em 2007 foi de 713.437 toneladas só para a argila caulinitica. O tipo de beneficiamento depende da argila. Por exemplo, a operação é altamente mecanizada quando se trata do caulim para a conversão em lama ou em pasta. Em 2008, o Canadá exportou 75 490 de argila correspondendo a 21, 9 milhões de dólares, o qual teve um aumento de 58,7% no ano de 2007. Esse aumento é relatado como uma demanda significativa do caulim para os Estados Unidos, Bélgica e Alemanha.

Consoante com o autor do artigo Heckroodt (1991), há muitos anos na África do Sul, tem sido feita pesquisas em várias regiões que há ocorrência do caulim, sendo que um programa de exploração foi realizado pelo Serviço Geológico entre 1975 e 1979. E descobriram que a maioria das ocorrências desse mineral podem ser agrupadas em quatro áreas: Cape Península, Vredenburg- Saldanha, Brackenfell-Kuilsrivier, Stellenbosch-Somerset West e também há algumas ocorrências pequenas nessas regiões, porém sem valor econômico. Contudo, os depósitos que são exploráveis estão localizados em Fish Hoek (Brakkloof), Kommetjie (Imhoff's Gift), and Noordhoek (Chaplin's Estate, Good Hope, Dassenberg).

Atualmente o caulim beneficiado é produzido apenas em Brakkloof. Mas, o beneficiamento do caulim em Noordhoek estima-se em 10 milhões de toneladas, porém há limitações geológicas neste local. Sendo que, um dos grandes problemas para a exploração e também para o beneficiamento do caulim na África do Sul são as restrições ecológicas. Mas, há locais que tem uma infraestrutura bem desenvolvida e pode gerar um retorno do beneficiamento deste minério de dois milhões de toneladas. (HECKROODT, 1991).

### 2.1.1 Depósito de Argila em Âmbito Brasileiro

A mineração no Brasil iniciou na época colonial, pouco menos de dois séculos posterior à vinda dos portugueses sobre território sul americano, mais diretamente no século XVII. A demora em encontrar jazidas apresenta os interesses portugueses, que estavam voltados para outros recursos, sendo eles o pau-brasil, tabaco, açúcar e mão-de-obra escrava. No século XVIII, houve o primeiro grande bom mineral, gerado pela descoberta do ouro, dando início ao começo das bases para a formação do setor mineral brasileiro e deixando o Brasil como o primeiro grande produtor mundial de ouro (BARRETO et al. 2002).

Porém o segundo ciclo mineral começou no século XX, após o fim da Segunda Guerra Mundial (precisamente nos anos 50), concretizando-se efetivamente no final da década de 1960. Assim, pode-se afirmar que grande parte do atual parque mineral foi construída recentemente e, em particular, durante as décadas de 1970 e 1980. (EUGÊNIO PACELLI LIMA, 2004)

O desenvolvimento nacional do setor mineral brasileiro foi construído sob uma visão estratégica, tendo por base uma política e uma legislação fomentadoras. As preocupações com a preservação do meio ambiente aparecem nos anos 80, embora algumas empresas tenham começado a incorporá-las já na década de 1970. (EUGÊNIO PACELLI LIMA, 2004)

A indústria cerâmica de sanitários surgiu no Brasil na década de 20, a partir da fusão de duas cerâmicas: uma que fabricava potes e panelas de barro e outra, louça de mesa. Até então, as louças sanitárias que abasteciam o mercado brasileiro eram importadas da Europa. (ESTUDO DE ATIVIDADE EMPRESARIAL et al. 2004)

Dentre os maiores produtores de cerâmica está a China, Brasil, Itália, Estados Unidos e Espanha, sendo os que contribuem com cerca de 70% da quantidade total da produção, que está estimada em 150 milhões de peças grandes no ano de 1999. Os continentes no qual é feita essa distribuição da produção está assim constituída: Europa 37%, Ásia 34% e as Américas 29%. (EUGÊNIO PACELLI LIMA, 2004)

### 2.1.2 Depósito de Argila em Âmbito Tocantinenses

No Tocantins, há uma forte carência de dados estatísticos confiáveis acerca da indústria cerâmica. Certamente isso não se restringe ao estado, mas ao país de

uma forma geral. São poucos os dados disponíveis que indiquem o número preciso de indústrias instaladas no território estadual, capacidade de produção, qualidade do produto final, tipo de matéria prima utilizada entre outros. (EUGÊNIO PACELLI LIMA, 2004)

Foram feitos levantamentos preliminares no âmbito do programa QUALICER, com 25 empresas que aderiram ao projeto e serviram de base para o estudo. Esses dados apresentados pelo relatório das atividades demonstraram, conforme levantamentos realizados pelo Instituto Nacional de Tecnologia, que a produção mensal de peças cerâmicas no Tocantins era, até o ano de 2000, de 10.000.000 peças/mês (EUGÊNIO PACELLI LIMA, 2004)

É fato que existem várias indústrias instaladas no Estado, mas parte destas trabalham na ilegalidade sendo até mesmo desconhecidas pelo SINDICER/TO Sindicato das Indústrias Cerâmicas para Construção do Estado do Tocantins. Os impactos ambientais são os mesmos observados nas demais, porém com um agravante, a ilegalidade, o que permite descompromisso com a recuperação das áreas degradadas. Sabe-se que as exigências dos órgãos competentes (DBPM, IBAMA e NATURATINS) são muitas e que os gastos financeiros para atender são expressivos. Infelizmente muitos dos pequenos empresários permanecem clandestinos. (EUGÊNIO PACELLI LIMA, 2004)

## 2.2 Preparações das amostras

Segundo Sampaio, França e Braga (2007) a preparação de amostras depende da amostragem, ou seja, para realizar este processo é necessário retirar uma quantidade significativa que represente um todo. Isto é, a massa específica, composição mineralógica, frações granulométricas, teor do material tem que ser avaliado e obtido todos os resultados possíveis com base nessa amostragem.

Os mesmos autores abordaram como preparação da amostra como um processo em que deve trabalhar uma amostra para determinar um critério de qualidade. Esses métodos de qualidade são as etapas de secagem, redução do tamanho da partícula, homogeneização, quarteamento entre outros. (SAMPAIO, FRANÇA E BRAGA, 2007).

### 2.2.1 Secagem da Amostra

Rocha, Suarez e Guimarães (2014) define a secagem como um processo da eliminação da água durante a fabricação dos materiais cerâmicos. O método mais comum de secagem é a natural, ou seja, expostas ao sol. Nesse processo a água é migrado pelos poros a parte superior, onde acontece a evaporação. O tempo que leva para secar através desse procedimento vai depender dos fatores climáticos. Porém, em processos industriais que a produção é em grande escala, essa secagem é indicada a fazer em câmaras secadoras. No final da secagem é possível observar a redução do volume e o aumento da resistência mecânica da amostra.

A transferência de calor e de massa, envolve o processo de secagem, simultaneamente, isso com o objetivo de remover grande parte da água presente no material poroso por meio de seu transporte e evaporação em um meio gasoso insaturado que envolve o material (OLIVEIRA, 2010).

Geralmente é uma etapa complexa e delicada, na fabricação de materiais cerâmicos, sendo comum, após a sua queima, ocorrerem defeitos que serão visíveis nas peças. A análise dos mecanismos envolvidos na secagem permite, a partir do controle da taxa de secagem evitar tais defeitos que se tornam visíveis na peça (como surgimento de poros), (OLIVEIRA, 2010).

O procedimento de secagem da amostra pode ser feito por meios naturais e/ou estufas, nesse caso dependera da quantidade de material a ser trabalhado no processo. A secagem pode ser rápida ou demorada, isso dependera da umidade presente na amostra, quando o material estiver muito úmido seria viável passar por uma secagem natural, onde estará retirando o excesso de água presente amostra, e depois levada a estufa. (SANTOS, 1989).

### 2.2.2 Cominuição

De acordo com Dutra (2008) a cominuição é uma parte muito considerável no processamento dos minérios, pois reduz a dimensão do material em partículas que podem ser trabalhadas tanto na concentração como na incrementação de um processo químico. Conhece-se duas etapas de cominuição que é a britagem, definida como cominuição inicial, e a moagem, definida como cominuição final.

Com isso, a britagem é um processo que reduz o tamanho do material a uma granulometria maior que 10 milímetros. Sendo que, pode ser subdividida em

primária, secundária, terciária e quaternária. Portanto, em cada etapa obtém uma relação de redução – é a relação da alimentação pela dimensão do produto, isso pode ser encontrado através da construção de gráfico plotando os valores de cada material retido ou passante para determinar a relação ideal. – Os principais métodos de mecanismos nesse tipo de cominuição é o impacto, compressão e cisalhamento do material. Os equipamentos utilizados são os britadores giratórios, de mandíbulas, de rolos e de impacto. Já se tratando da cominuição final que é a moagem, é uma parte da preparação das amostras que reduz a partícula a uma granulometria menor que 10 milímetros. Todavia, a moagem também tem suas subdivisões. E, seus equipamentos usados para esse processo é o moinho tubular rotativo, vibratório, rolos e impacto. (DUTRA, 2008).

A britagem da argila é necessária apenas se ele estiver em formato de torrões, na qual impossibilita a moagem do material, na britagem é utilizado o britador de mandíbula para diminuir a granulometria do material, e em seguida levado a o moinho para chegar a granulometria desejada. Em casos de laboratórios é utilizado o almofariz e pistilo no lugar de moinhos. (SANTOS, 1989).

### 2.2.3 Classificação Granulométrica

Já se tratando da classificação granulométrica Dutra (2008) afirmou que a separação é de acordo com o tamanho do material. Contudo, esse processo é subdividido em peneiramento e a classificação. No entanto, o primeiro é um meio de separação mecânica das partículas através das peneiras que tenham uma determinada abertura da malha, onde, o material irá ficar retido ou passará para a próxima peneira, mas a classificação das peneiras dependerá do que se deseja a ser trabalhado, se é o material retido ou o passante. E, os principais equipamentos são as peneiras rotativas, vibratórias e estáticas. Outrora, classificação, o segundo, destaca-se por ter a presença de um meio fluido para a sedimentação das partículas imersas. Esses fluidos mais usados nesse processo é água e o ar que gera os métodos de hidroclassificação e aeroseparação. Para a hidroclassificação os equipamentos são os cones estáticos, hidrociclones, classificadores espirais e para aeroseparação são os ciclones e os aeroseparadores dinâmicos.

#### 2.2.4 Homogeneização e Quarteamento

Segundo Neves (2005), as amostras de solo coletadas no campo podem variar-se em média de 2 a 3 Kg ou até mais depende da quantidade que será utilizada da amostra. Após a coleta das amostras é retirada umas quantidades em gramas, para caracterizá-las como amostra laboratorial. A pequena quantidade de material colhido tem que ser representativa de um todo das amostras colhidas no campo, a última sendo ser representativa do local de amostragem.

A representação da amostra laboratorial em relação das amostras coletadas no campo depende de sua preparação física pela qual a amostra for submetida e classificada da operação de homogeneização e quartilha. (NEVES, 2005).

O processo de operação da homogeneização ou mistura é realizado depois de cada etapa da cominuição e peneiramento. A amostra pode ser homogeneizada em misturadores mecânicos ou manualmente. (NEVES, 2005).

No mecânico as amostras podem ser colocadas em cima de um papel limpo, ou sobre uma lona de bancada assim dependendo do volume da amostra que está sendo trabalhada, fazendo com que as partículas se movimentem de um lado para outro, assim quando se levanta os cantos do papel. (NEVES, 2005).

Na mistura manualmente coloca-se a amostra em um recipiente de vidro bem fechado e não muito cheio, e movimenta-se em várias direções diferentes, neste caso comparam-se as duas maneiras. Contudo, a mais eficaz são os misturadores mecânicos. (NEVES, 2005).

#### 2.2.5 Preparação das Pastilhas

Nas análises laboratoriais são feitos através de pequenas quantidades de material pastilhas que são utilizadas para realização de testes como, compressão, absorção de água, perda de massa e etc. as pastilhas são preparadas através de moldes no qual apresenta vários formatos e tamanhos, sendo eles retangulares e redondos, neles é depositado a quantidade especifica do material e levado a uma pressão especifica durante um determinado tempo, assim podendo deixar o material bem compactado e resistente. (SANTOS, 1989).

Efetuar a redução do tamanho das partículas da amostra utilizando gral, em porções adequadas colocar no molde e prensar para formar a pastilha. Para amostras de plásticos e borrachas ou ainda outras que são de difícil moagem, pode

ser realizada fragmentação com auxílio de estilete ou outro instrumento cortante ou utilizado nitrogênio líquido para torna-las quebradiças. (SANTOS, 1989).

### 2.3 Aplicação dos materiais cerâmicos

Leggerini (2005), fez uma divisão dos materiais cerâmicos, os cerâmicos tradicionais e os cerâmicos técnicos. Normalmente, os cerâmicos tradicionais são obtidos a partir de três componentes básicos, a argila (silicato de alumínio hidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) com aditivos) a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e o feldspato ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ). Já os cerâmicos técnicos são geralmente formados por compostos puros, ou quase puros, tal como o óxido de alumínio (alumina -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de zircônio (zircônia -  $\text{ZrO}_2$ ), o carboneto de silício ( $\text{SiC}$ ) e o nitreto de silício ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

Dentro desse mesmo estudo Leggerini (2005) abordou a aplicação dos materiais cerâmicos e onde são melhores utilizados como: fornos com as paredes, tijolos maciços ou furados, blocos, ladrilhos, telhas de barro cozido ou vidradas, tubos e conectores, produtos artísticos, louças e porcelanas, louça sanitárias, louça de Grês, azulejos, louça de mesa e porcelanas artísticas, industriais, domésticas e elétricas.

Cerâmicas são materiais preparados, sob altas temperaturas, tendo como compostos inorgânicos: silicatos e óxidos metálicos. As cerâmicas podem ser classificadas, de acordo com o material e técnicas utilizadas, como: cerâmica vidrada (azulejo), terracota (argila cozida no forno), grés (cerâmica vidrada, feita de pasta de quartzo, feldspato, argila e areia) e faiança (louça fina obtida de pasta porosa cozida a altas temperaturas, envernizada ou revestida de esmalte). Também podem ser classificados, quanto à natureza dos materiais cristalinos, em silicatos, refratários, óxidos puros e cerâmicos de óxidos de não silicatos (VAN VLACK, 1984).

As composições de algumas cerâmicas de silicatos são dadas em porcentagem como mostrado na tabela 1 abaixo, podendo observar a porcentagem de composição química.

Tabela 1: Composições de algumas cerâmicas de silicatos.

Cerâmico	Composição (%p)					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Outros
Refratário de sílica	96	-	-	-	-	4
Refratário de argila	50-70	45-25	-	-	-	5
Refratário de mulita	28	72	-	-	-	-
Porcelana elétrica	61	32	6	-	-	1
Porcelana esteatita	64	5	-	30	-	1
Cimento portland	25	9	-	-	64	2

Fonte – Shackelford, 2008

A tabela 1 mostra a porcentagem de sílica que é adicionado em alguns tipos de materiais cerâmicos.

Uma das características comuns destes materiais é serem constituídos de não metais e ametais. Quanto citamos objetos de arte, o termo cerâmico é também familiar. Porém para os engenheiros, os materiais cerâmicos abrangem uma grande variedade, tais como vidro, tijolos, pedras, concreto, abrasivos, vernizes e esmaltes para porcelana, isolantes dielétricos, refratários com alta resistência, etc. (VAN VLACK, 1984).

#### 2.4 Estudo das propriedades físicas e químicas

Alvarez (2014), fez alguns estudos a respeito das propriedades físicas e químicas da argila. E são eles:

**Sistema Coloidal:** O solo é conceituado como um sistema coloidal, porque tem apenas uma fase e é sólida, sendo que há subdivisão e está em um meio de dispersão, composto pela água e ar. Nesse processo ocorrem reações químicas, físico-químicas e microbiológicas no solo. E é na etapa de dispersão que há presença da fração argilosa, e suas partículas são do tamanho, aproximadamente, 2 µm. No entanto essa dimensão da partícula não caracteriza como colóide no que tange o ponto físico-químico. (ALVAREZ, 2014).

Grande Superfície Específica: Uma das propriedades do sistema coloidal é a superfície específica que é referente à área pela unidade de peso do material, sendo considerado o solo, argila, matéria orgânica, entre outros. E a unidade de medida é frequentemente expressa em metros quadrados por grama ( $m^2/g$ ). (ALVAREZ, 2014).

No entanto, há grandes transformações entre solos e as suas superfícies específicas. E o principal indicador por essas mudanças está relacionada com a textura ou granulometria, os tipos de argila e o teor de matéria orgânica. Sabemos, que cada tipo de argila existe uma quantidade do material presente na superfície específica, por exemplo, a caulinita apresenta de 10 a 30  $m^2/g$ , os óxidos de Fe de 100 a 400  $m^2/g$ . Portanto, os óxidos e a argila caulinita estão presente em solos tropicais e tem uma menor superfície específica. (ALVAREZ, 2014).

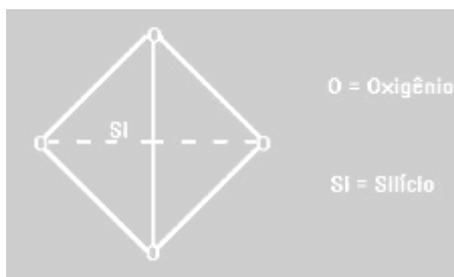
Outras propriedades estudadas pelo mesmo autor, (Alvarez, 2014), foram as cargas elétricas que é uma característica muito importante de uma dispersão coloidal. Vale ressaltar que as argilas de modo geral são eletronegativas. Se bem que, também podem está carregada positivamente e negativamente. Todavia, em alguns solos quando já estão bem intemperizados há uma maior quantidade de cargas positivas.

Tratando-se da energia cinética quanto uma das propriedades da argila pode destacar que é conhecido também como movimento browniano, isto é, descrito pelo movimento brusco e irregular das partículas dispersas. Essa movimentação é dada por meio da difusão das partículas, ou seja, as partículas saem de um campo de maior concentração para um campo de menor concentração. (ALVAREZ, 2014).

Dentro do grupo das argilas há algumas divisões e a mais importante para este trabalho são as argilas silicatadas e incluso neste grupo tem as caulínicas que serão retratadas logo abaixo. (ALVAREZ, 2014).

As argilas silicatadas possuem uma granulometria menor que 2  $\mu m$  e estão presentes em solos de regiões temperadas, pois ainda não há um grau avançado de intemperismo. Essas argilas são formadas por duas unidades estruturais básicas. Uma é o tetraedro composto de sílica, formado por ligações de um átomo de Si e quatro átomos de oxigênio. (Figura 1, pag. 14)

Figura 1: Estrutura química da argila silicatada de silício.



Fonte: FEUP, (2013).

A outra estrutura é constituída pelo octaedro de alumina, formado por um átomo de Al e seis átomos de oxigênio. (Figura 2, pag. 14)

Figura 2: Estrutura química da argila silicatada de alumínio.

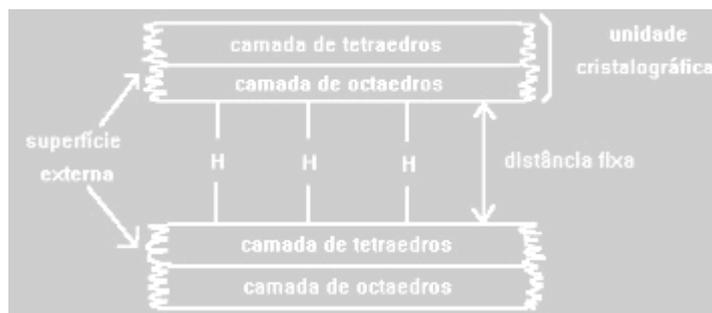


Fonte: FEUP, (2013).

Como essa estrutura é do grupo dos filossilicatos, então são tetraedros que podem ligar entre si, formando uma camada contínua. Embora, as ligações dos octaedros são semelhantes a ligação dos tetraedros. Apesar que a principal diferença básica entre os tetraedros e os octaedros é a unidade componente de um cristal de argila silicatada.

Já se tratando da caulinita que é uma das principais argilas que faz parte das argilas silicatadas, caracteriza-se por um arranjo na estrutura uma camada de tetraedros e uma de octaedros, estes ligados entre si através dos átomos de oxigênio comuns as duas camadas, com isso, constituem uma unidade cristalográfica. Logo, que as unidades são formadas, ou seja, as superfícies externas, depois são ligadas entre si por pontes de hidrogênio. No entanto, são hexagonais e de tamanho grande o que leva a ter uma superfície específica pequena. (Figura 3, pag. 15)

Figura 3: Representação esquemática das argilas do grupo da caulinita



Fonte: FEUP, (2013).

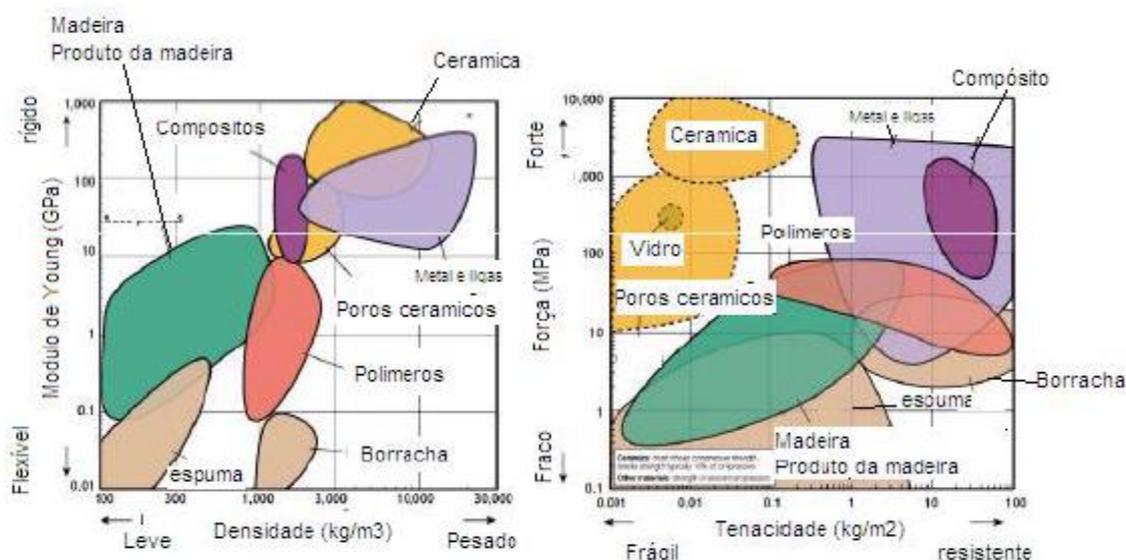
Essa estrutura das caulinitas são uma das principais argilas que faz parte das argilas silicatadas, podem-se caracterizar por meio de arranjo na estrutura uma camada de tetraedros e uma de octaedros, onde então ligados entre si através dos átomos de oxigênio comuns as duas camadas, assim, constituem uma unidade cristalográfica.

Utilizado em serviço, todos os materiais são expostos a estímulos externos os quais evocam resposta a tais estímulos. Exemplos, quando uma amostra é submetida a forças e sofrer deformação, ou quando uma superfície de metal polido refletirá luz. O traço é uma propriedade de um material em termos do tipo e magnitude de resposta, isso a um específico estímulo imposto. (CALLISTER,1991).

Sabe-se que as propriedades mecânicas dos materiais dependem tanto da composição química, quanto da microestrutura. A natureza das ligações, a estrutura cristalina e os defeitos, têm enorme influência na resistência mecânica e na ductilidade dos materiais metálicos, as baixas temperaturas (fragilizam vários metais e polímeros) também afetam as suas propriedades mecânicas (ASKELAND, 2008).

A figura 4 apresenta as propriedades da argila, mostrado pelo módulo de Young dado em giga pascal (GPa) e densidade ( $\text{kg/m}^3$ ), e força em mega pascal (Mpa) e tenacidade ( $\text{kg/m}^2$ ).

Figura 4: Propriedade de materiais.



Fonte: FEUP, (2013).

As propriedades mecânicas dos materiais dependem tanto da composição química, quanto da microestrutura. (Figura 4, pag. 16)

Segundo Askeland (2005), pode ser examinado e descrito, a estrutura dos materiais em cinco tópicos diferentes: macroestrutura, nanoestrutura microestrutura, arranjos atômicos de curto e longo alcance e estrutura atômica. Além desses tópicos é preciso esclarecer que existe o fato de que a microestrutura é uma propriedade que nem sempre são sensível em todos os materiais. Nas amostras de alumínio praticamente com a mesma composição química, porém com tamanhos de grãos diferentes, é considerável esperar que os módulos de elasticidade destas amostras sejam quase iguais.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Secagem da amostra

Nesse passo, 2kg de argila foram postas em um recipiente e após encaminhado a uma estufa onde permaneceu por 24hs, no qual a temperatura máxima de aquecimento foram 100 °C. Através deste procedimento pelo qual a amostra passou foi possível está eliminando toda a umidade que havia no material fazendo com que ela evaporasse.

#### 3.2 Cominuição

Nessa etapa do processo foi tomado bastante cuidado para evitar contaminação do material, neste caso utilizou-se o almofariz e pistilo para cominuir a cerca de 2kg do material. Para que conseguisse a chegar a uma granulometria satisfatória está cominuição foi feita manualmente, assim deixando o material em uma granulometria a fim de classifica-la nas peneiras.

#### 3.3 Classificação granulométrica

Os métodos para realizar esse ensaio são a seleção de peneiras a serem usadas na classificação granulométrica, as aberturas de ¼", 8# (mesh), 20#, 30#, 40#, 50#, 100# e 200#, a amostra foi adicionada na peneira superior em seguida agitadas manualmente no sentido horário e anti-horário durante o tempo de cinco minutos, para serem classificadas por granulometria, sendo que os materiais que seriam utilizados posteriormente eram apenas os retidos de 50#, 100# e passante de 100#. Esses materiais retidos foram pesados em uma balança de alta precisão e a sua massa respectivamente foram 700g e 700g, e passante aproximadamente 300g.

#### 3.4 Confecção de pastilhas

Depois da classificação granulométrica, com o auxílio de uma espátula foram postos 10 gramas do material em um vidro relógio sobre uma balança de alta precisão, e depois levada a um embolo no qual o material pode ser disposto para realizar a compactação das pastilhas, onde 42 pastilhas foram submetidas as cargas de 2 toneladas e 42 pastilhas a uma carga de 3 toneladas durante um período de

tempo de 1 minuto, assim foram tomadas algumas subdivisões para a confecção das pastilhas, foram as seguintes: a argila retida na peneira de 50# foram feitas 42 pastilhas, sendo 21 com a carga de 2 toneladas e as outras 21 com a carga de 3 toneladas. As retidas na peneira de 100# teve o mesmo procedimento, 42 foram submetidas a uma carga de 2 toneladas e as demais, com a carga de 3 toneladas. Portanto, totalizou as 84 pastilhas confeccionadas.

### 3.5 Sinterização

As pastilhas foram divididas em sete temperaturas diferentes, sendo elas de 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C. Em cada uma das temperaturas foram expostas 3 pastilhas de 50# com a pressão de 2 toneladas e 3 pastilhas com a pressão de 3 toneladas. Nesse outro caso com a variação de granulometria pode ser utilizado o mesmo procedimento com as pastilhas de 100#, recebendo as mesmas cargas.

#### 3.5.1 Temperatura de pré aquecimento

A temperatura inicial para a sinterização foi de 100°C, para as pastilhas atingir essa temperatura foram depostas em uma estufa durante um tempo de 24 h, com essa temperatura as pastilhas poderão ser colocadas na mufla sem que ela sofra algum tipo de fissura dentre seus cristais, pois elas serão submetidas uma temperatura inicial de 100°C.

#### 3.5.2 Rampa de Aquecimento

As pastilhas que foram submetidas a temperatura de 100°C na qual encontrava-se na estufa, e passada para mufla com a temperatura inicial de 100°C. Com isso, a cada 20 minutos aumentava 100°C, até atingir 900°C. No momento em que alcançou à 900°C o tempo de espera foram de 20 minutos para começar o tempo de resfriamento, que foi submetido a um tempo de 50 minutos na qual foram baixado a cada exato 50 minutos uma temperatura de 100°C. No entanto, atingindo os 100°C na temperatura final de resfriamento, esperou durante os 50 minutos para desligar a mufla e foram aguardado um tempo para que o resfriamento atingisse a 0°C, assim podendo ser retirada as pastilhas.

### 3.6 Retração linear

Para obter os resultados deste procedimento foi utilizado o paquímetro digital “MIP/E - 103 da Mitutoyo” que é de alta precisão e tendo as seguintes medidas: altura, largura e comprimento. Foram mensuradas 84 pastilhas e subdivididas por carga e granulometria, isto é, 21 pastilhas de 50# com carga de 2 toneladas, 21 pastilhas de 50# com carga de 3 toneladas, 21 pastilhas de 100# com carga de 2 toneladas e 21 pastilhas de 100# e 3 toneladas, no final de todas as medidas foram feitas as médias aritméticas das 4 divisões e resultou na tabela abaixo. Portanto, a retração linear é a relação entre o comprimento inicial antes da secagem menos o comprimento final após a secagem, dividido pelo comprimento inicial. Esta propriedade foi medida de acordo com as temperaturas abaixo:

Temperaturas utilizada para esse processo foram: 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C.

$$R(\%) = \frac{Li - Lq}{Li} \times 100$$

Os resultados podem ser obtidos através da formula onde R = retração linear, Li = comprimento inicial, Lq = comprimento final.

### 3.7 Absorção de água

É relacionado ao valor do peso úmido menos o seco, dividido pelo peso seco. Para isso foi realizado o processo de absorção d'água, no qual foi submetida o uso das pastilhas para submerge na água posta no recipiente utilizado para os testes, sendo esse processo uma das principais características dos revestimentos cerâmicos. Indica sua porosidade e se expressa pelo percentual de absorção de água calculado sobre o peso total da placa. Tal ensaio é medido pela Norma 13818:1997 Especificação e método de ensaio. Quanto menor for a porosidade do revestimento menor será a quantidade de água que ele poderá absorver e melhores serão as suas características técnicas e resistência.

Os resultados podem ser obtidos através da formula onde AA = absorção de água, Pu = peso úmido, Ps = peso seco.

$$AA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

### 3.8 Perda de massa

Neste procedimento foi utilizada a balança "AS500C da Marte" de alta precisão para pesar as pastilhas. O material foi subdividido em quatro grupos e em cada grupo foi feita uma média aritmética. Logo, sabe-se que quando as pastilhas são expostas a altas temperaturas há perda de massa, então com a fórmula é possível determinar o peso final e podendo ser determinada através da seguinte fórmula onde massa inicial menos a final dividido pela massa inicial.

Os resultados podem ser obtidos através da fórmula onde Pf = perda de massa, Mi = massa inicial, Mf = massa final.

$$Pf = Mi - \frac{Mf}{Mi}$$

### 3.9 Ensaio de flexibilidade

Esses ensaios foram obtidos através de um equipamento conhecido como prensa que é uma máquina universal para ensaios, modelo DL30000, podendo obter a tensão exercida sobre cada pastilha, assim tendo a resistência exata de cada uma, pois a cada temperatura utilizada desde 900°C a 1200°C sendo ela variando de 50°C totalizando sete tipos de temperatura diferentes, para cada uma dessas temperaturas foi utilizado 3 pastilhas, com isso foram possíveis obter resultados mais concretos sobre cada um dos aquecimentos na qual precisaram ser submetidas.

Pode ser coletado os resultados de cada uma das pastilhas assim foi possível calcular a média, desvio padrão e coeficiente de variância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Classificação

De acordo com os resultados das tabelas abaixo foi possível obter os dados dos gráficos apresentados abaixo, foram analisadas as medidas e a massa das pastilhas da pré-sinterização e pós-sinterização. No entanto, é possível observar a redução de todas as medidas como também da massa, logo indica que as amostras continham materiais orgânicos e quando são submetidos a temperatura superior a 400 °C esses materiais são eliminados por meio da queima. Contudo, a granulometria analisada nessas amostras foram de 50# e 100# submetidas a uma pressão de 2 e 3 toneladas, apesar que as cargas de 3 toneladas deixam as pastilhas mais compactas, por serem de granulometria diferente da outra sendo uma com material mais grosso e outra o material mais fino, pôde haver mais espaços vazios, ou seja, porosidade, com isso, essa perda de medidas e de massa foi maior avaliando as amostras de 100#.

### 4.2 Sinterização

Os resultados obtidos após a sinterização das pastilhas com as granulometrias de 50# e 100# confinadas com as cargas de 2 e 3 toneladas foi a redução dos quatro componentes avaliadas nesse processo, que são: massa, espessura, largura e comprimento. Porém, estão sendo analisados os gráficos da pré-sinterização que é o gráfico base para o da pós-sinterização. Esse comportamento de redução das medidas é explicado quando as amostras são submetidas a altas temperaturas em que todo o material orgânico é eliminado. Contudo, é notável ainda que com uma maior carga sob as pastilhas mesmo assim houve essa redução, ou seja, há presença de material orgânico até quando as amostras estão mais compactadas.

Bem sabe-se, que a argila caulínica apresenta algumas propriedades que são características desse minério como a cristalografia pseudo hexagonal e da classe prismática, clivagem que é perfeita, a densidade em torno de 2,6 g/cm<sup>3</sup>, dureza na escala de Mohr de 2 a 2,5, brilho terroso e a cor que é geralmente branco e varia-se de conforme o grau de impureza. Todavia, essas propriedades são intrínsecas e influenciam no resultado da amostra.

As tabelas 2 apresenta as médias de antes e após a sinterização, e a porcentagem de perda das pastilhas de 50# e 100# sobre a pressão de 2 e 3 toneladas. As médias está relacionada a cada temperatura, e através de três pastilhas foi possível obter os resultados das médias e porcentagens apresentada abaixo.

Tabela 2: medias das pastilhas de antes e após a sinterização e porcentagem de perda após sinterizadas.

AMOSTRAS	Medias das Medidas das Pastilhas de 50# em 2 Toneladas												Temp. °C
	Pré-Sinterização				Pós-sinterização								
	Massa (g)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)	% Massa (g)	Espessura (mm)	% Espessura (mm)	Largura (mm)	% Largura (mm)	Comprimento (mm)	% Comprimento (mm)	
<b>AM 1</b>	10,01	5,27	20,29	60,56	8,69	13,19	5,07	3,80	19,61	3,35	58,76	2,97	<b>900</b>
<b>AM 2</b>	9,99	5,23	20,23	60,53	8,66	13,31	5,07	3,06	19,60	3,11	58,98	2,56	<b>950</b>
<b>AM 3</b>	10,00	5,23	20,21	60,54	8,68	13,20	5,09	2,68	18,54	8,26	58,98	2,58	<b>1000</b>
<b>AM 4</b>	9,99	5,23	20,21	60,52	8,67	13,21	4,99	4,59	19,43	3,86	58,95	2,59	<b>1050</b>
<b>AM 5</b>	9,97	5,25	20,24	60,53	8,65	13,24	5,30	-0,95	19,44	3,95	58,76	2,92	<b>1100</b>
<b>AM 6</b>	9,98	5,23	20,25	60,56	8,64	13,43	4,90	6,31	18,55	8,40	55,34	8,62	<b>1150</b>
<b>AM 7</b>	9,99	5,24	20,21	60,55	8,63	13,61	4,76	9,16	18,04	10,74	54,76	9,56	<b>1200</b>
-	Medias das Medidas das Pastilhas de 50# em 3 Toneladas												-
<b>AM 8</b>	9,98	4,90	20,25	60,64	8,67	13,13	4,74	3,27	19,64	3,01	58,75	3,12	<b>900</b>
<b>AM 9</b>	9,99	4,96	20,24	60,61	8,68	13,11	4,81	3,02	19,59	3,21	58,97	2,71	<b>950</b>
<b>AM 10</b>	10,00	5,09	20,23	60,65	8,67	13,30	4,96	2,55	19,59	3,16	58,91	2,87	<b>1000</b>
<b>AM 11</b>	9,97	5,01	20,22	60,60	8,64	13,34	4,87	2,79	19,41	4,01	58,92	2,77	<b>1050</b>
<b>AM 12</b>	9,99	5,04	20,20	60,62	8,65	13,41	4,99	0,99	19,44	3,76	58,66	3,23	<b>1100</b>
<b>AM 13</b>	9,99	5,13	20,19	60,58	8,62	13,71	4,83	5,85	18,44	8,67	55,33	8,67	<b>1150</b>
<b>AM 14</b>	9,99	5,01	20,21	60,60	8,61	13,81	4,79	4,39	17,92	11,33	55,12	9,04	<b>1200</b>

-	Medias das Medidas das Pastilhas de 100# em 2 Toneladas												-
<b>AM 15</b>	9,92	5,34	20,23	60,55	8,67	12,60	5,17	3,18	19,79	2,17	59,27	2,11	<b>900</b>
<b>AM 16</b>	9,95	5,40	20,23	60,60	8,68	12,76	5,11	5,37	19,73	2,47	58,98	2,67	<b>950</b>
<b>AM 17</b>	9,96	5,43	20,20	60,52	8,71	12,55	5,07	6,63	19,70	2,48	58,98	2,54	<b>1000</b>
<b>AM 18</b>	9,97	5,24	20,20	60,50	8,71	12,64	5,25	-0,19	19,66	2,67	58,95	2,56	<b>1050</b>
<b>AM 19</b>	9,98	5,45	20,22	60,55	8,68	13,03	5,23	4,04	19,64	2,87	58,76	2,96	<b>1100</b>
<b>AM 20</b>	9,96	5,48	20,22	60,56	8,64	13,25	5,00	8,76	18,56	8,21	55,34	8,62	<b>1150</b>
<b>AM 21</b>	9,97	5,71	20,17	60,59	8,63	13,44	4,76	16,64	18,37	8,92	54,76	9,62	<b>1200</b>
-	Medias das Medidas das Pastilhas de 100# em 3 Toneladas												-
<b>AM 22</b>	9,96	5,17	20,25	60,57	8,71	12,55	5,09	1,55	19,79	2,27	59,17	2,31	<b>900</b>
<b>AM 23</b>	9,95	5,04	20,26	60,66	8,70	12,56	5,32	-5,56	19,68	2,86	58,97	2,79	<b>950</b>
<b>AM 24</b>	9,95	5,26	20,22	60,56	8,69	12,66	4,91	6,65	19,71	2,52	58,91	2,72	<b>1000</b>
<b>AM 25</b>	10,02	4,93	20,25	60,60	8,74	12,77	5,23	-6,09	19,71	2,67	58,92	2,77	<b>1050</b>
<b>AM 26</b>	9,96	5,04	20,24	60,58	8,67	12,95	4,89	2,98	19,30	4,64	58,66	3,17	<b>1100</b>
<b>AM 27</b>	10,01	5,02	20,23	60,62	8,70	13,09	4,57	8,96	18,56	8,26	55,33	8,73	<b>1150</b>
<b>AM 28</b>	10,01	5,06	20,22	60,60	8,68	13,29	4,56	9,88	18,47	8,65	55,12	9,04	<b>1200</b>

A tabela 2 mostra o resultado da medias e a porcentagem de perda após a sinterizaçõa em cada uma da etapas sendo elas massa, espessura, largura e comprimento, esses resultado foram possiveis devido os tres teste realizado no qual foi submetido a sete diferentes temperaturas de 900°C à 1200°C, variando 50°C de um para outra, assim foi possível ver o comportamento de cada uma das amostras, com isso o melhor resultado obtido nesse processo foi as amostras AM 1 a AM 28.

Em algumas temperaturas as pastilhas apresentarão baixas retrações e perda, dentre as etapas apresentada as que chamou mais atenção foram as medidas de comprimento e a perda de massa, pois seria um dos casos a ser observado e estudados, em algumas temperaturas as pastilhas apresentaram uma alta porcentagem de perda em relação as demais estudadas, nesses estudos as amostras que apresentaram maior retrações e perdas foram as AM6, AM7, AM13, AM14, AM20, AM21, AM27 e AM28, esses dados pode ser observado devido a variação de temperatura.

#### 4.3 Retração linear

É o processo que utiliza a relação entre o comprimento inicial da pastilha antes da secagem e o comprimento final após a secagem, dividido pelo comprimento inicial. Esta propriedade foi medida de acordo com as temperaturas abaixo:

Após a sinterização: 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C.

$$R(\%) = \frac{Li - Lq}{Li} \times 100$$

A tabela 3 apresenta a porcentagem de retração linear 50# e 100# em 2 e 3 toneladas, reapresentado em diferentes elevadas temperaturas na qual foram feitas as sinterizações.

Tabela 3: Porcentagem retração linear das pastilhas.

Condições	R <sub>900</sub>	R <sub>950</sub>	R <sub>1000</sub>	R <sub>1050</sub>	R <sub>1100</sub>	R <sub>1150</sub>	R <sub>1200</sub>
50# em 2 Ton.	2,98%	2,55%	2,58%	2,59%	2,92%	8,61%	9,57%
50# em 3 Ton.	3,12%	2,71%	2,87%	2,78%	3,23%	8,68%	9,04%
100# em 2 Ton.	2,11%	2,67%	2,55%	2,56%	2,96%	8,61%	9,62%
100# em 3 Ton.	2,31%	2,79%	2,72%	2,77%	3,17%	8,74%	9,04%

De acordo com os resultados da tabela 3 na qual mostra a porcentagem de retração das pastilhas, as que apresenta alta porcentagem de retração são as de temperaturas mais alta sendo as de 1150°C e 1200°C, esse resultados pode ser obtidos através das medidas de comprimento de cada pastilha.

#### 4.4 Absorção de água

Relaciona-se o valor do peso úmido menos o seco dividido pelo peso seco. A absorção d'água é uma das principais características dos revestimentos cerâmicos. Indica sua porosidade e se expressa pelo percentual de absorção de água calculado sobre o peso total da placa. Tal ensaio é medido pela Norma NBR 15270 Especificação e método de ensaio. Quanto menor a porosidade do revestimento menor a quantidade de água que ele poderá absorver e melhores serão as suas características técnicas e resistência.

$$AA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

A tabela 4 mostra a porcentagem de absorção de água, em quatro diferentes condições e sete tipos de temperaturas.

Tabela 4: Porcentagem de absorção de água das pastilhas.

Condições	AA <sub>900</sub>	AA <sub>950</sub>	AA <sub>1000</sub>	AA <sub>1050</sub>	AA <sub>1100</sub>	AA <sub>1150</sub>	AA <sub>1200</sub>
50# em 2 Ton.	29,20%	29,43%	29,37%	27,91%	28,45%	18,45%	11,81%
50# em 3 Ton.	27,22%	27,24%	27,00%	25,82%	25,97%	14,30%	9,25 %
100# em 2 Ton.	29,83%	29,69%	29,79%	29,66%	28,75%	16,86%	14,21%
100# em 3 Ton.	27,37%	27,19%	27,66%	27,65%	26,81%	14,94%	13,94%

De acordo com as normas NBR 15270-3 argila para esse tipo de processo trabalhado a absorção de água da material via de 8% a 22%, com os resultados apresentado na tabela 4 onde está mostrando as porcentagens de absorção de água, os que apresenta dentro desses parâmetros exigidos são os das temperaturas de 1150° e 1200°C

#### 4.5 Perda de massa

A perda ao fogo quer dizer que é a redução da massa inicial das pastilhas antes da sinterização em relação à massa final a pós sinterização do material argiloso no qual se forma as pastilhas. Essa redução ocorre quando o material atinge temperaturas mais elevadas acima de (400°C) onde ocorre a fase vítrea do material eliminando toda a matéria orgânica presente.

$$Pf = Mi - \frac{Mf}{Mi}$$

A tabela 5 apresenta a perda de massa que são dadas em gramas, e são expostas a diferentes graus de temperatura, o material com dois tipos de granulometria em duas tensões diferente para cada uma delas.

Tabela 5: Perda de massa das pastilhas.

Condições	Pf <sub>900</sub>	Pf <sub>950</sub>	Pf <sub>1000</sub>	Pf <sub>1050</sub>	Pf <sub>1100</sub>	Pf <sub>1150</sub>	Pf <sub>1200</sub>
50# em 2 t	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,14 g
50# em 3 t	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,14 g	0,14 g
100# em 2 t	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g
100# em 3 t	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g	0,13 g

Os resultados da tabela 5 representa a perda de massa das pastilhas na qual foram submetidas a altas temperatura, e com diferentes granulometria, apesar de apresentar baixas diferenças entre as demais, os melhores resultado possíveis foram nas pastilhas de 50# com 3 toneladas nas temperaturas de 1150°C e 1200°C.

#### 4.6 Ensaio de flexibilidade

Esses ensaios apresenta a média da resistência de cada uma das temperaturas trabalhadas, e de cada granulometria utilizada nesse trabalho, os resultados das médias são dados em Newton (N), do modo em que está sendo apresentado nas tabelas 6 abaixo.

Tabela 6: Média dos ensaios de flexibilidade.

AMOSTRAS	Media (N)				Temp. °C
	50 #		100#		
	2 Ton.	3 Ton.	2 Ton.	3 Ton.	
AM 1	4,24	3,18	6,35	6,35	900
AM 2	6,35	7,41	6,35	5,29	950
AM 3	7,41	9,53	6,35	6,35	1000
AM 4	6,35	10,59	7,41	7,41	1050
AM 5	6,35	11,64	8,47	7,41	1100
AM 6	16,94	27,52	20,11	23,29	1150
AM 7	16,94	27,52	19,05	17,99	1200

Os resultado da tabela 6 representa a media dos ensaios de flexão dada em Newton (N), neste caso as amostra que apresentaram possivelmente melhores resultados foram as AM 6 e AM 7, dentre elas a que obteve maior resistencia foram as AM 6 e AM 7 de 50 # com 3 ton, por tratar-se de um material de maior granulometria sobre uma elevada pressão, e submetida a uma alta temperatura, nestes casos o material com maior granulometria apresenta maior resistencia, pois esta composto por cristais maoires, as de menor granulometria por apresentar pequenos cristais assim mostrou uma menor resistencia.

#### 4.7 Analise dos dados

Os dados coletados das variáveis serão apresentados em tabelas e gráficos, em seguida serão determinadas as medidas de tendência central e de dispersão: desvio padrão e coeficiente de variância (CV), de acordo com Crespo (2009) se o valor de CV for menor que 15% (a série apresenta baixa dispersão), se estiver entre 15% e 30% (a série apresenta média dispersão) e se estiver acima de 30% (a série apresenta alta dispersão). A partir destas medidas serão construídos intervalos de confiança para estimar os parâmetros destas variáveis estudadas com 95% de

confiabilidade; que permitirá avaliar se os tratamentos, dentre os níveis de temperatura analisados, apresentam diferenças significativas, ou não, entre os mesmos. Por fim, serão desenvolvidos modelos matemáticos de regressão simples e multivariados, que melhor se adequarão, para representar a relação entre as variáveis envolvidas no estudo deste fenômeno.

A tabela 7 apresenta a resistências das pastilhas em relação ao teste de flexibilidade, no qual foi utilizado três amostras para obter os resultados apresentados, pode gerar três repetições dadas em Newton (N) sobre diferentes temperatura.

Tabela 7: Análise dos dados de 50# e 100# (mesh).

Malha	Carga	Temperatura (°C)	Repetições		
			R 1 N	R 2 N	R 3 N
50 (#)	2 (t)	900°C	6,35	3,18	3,18
		950°C	6,35	6,35	6,35
		1000°C	6,35	9,53	6,35
		1050°C	6,35	6,35	6,35
		1100°C	6,35	6,35	6,35
		1150°C	19,05	15,88	15,88
		1200°C	19,05	15,88	15,88
	3 (t)	900°C	3,18	3,18	3,18
		950°C	3,18	9,53	9,53
		1000°C	9,53	9,53	9,53
		1050°C	9,53	9,53	12,70
		1100°C	9,53	12,70	12,70
		1150°C	28,58	28,58	25,40
		1200°C	28,58	28,58	25,40
100 (#)	2 (t)	900°C	6,35	6,35	6,35
		950°C	6,35	6,35	6,35
		1000°C	6,35	6,35	6,35
		1050°C	6,35	6,35	9,53
		1100°C	9,53	6,35	9,53
		1150°C	22,23	19,05	19,05
		1200°C	19,05	19,05	19,05
	3 (t)	900°C	6,35	6,35	6,35
		950°C	3,18	6,35	6,35
		1000°C	6,35	6,35	6,35
		1050°C	6,35	9,53	6,35
		1100°C	6,35	6,35	9,53
		1150°C	22,23	25,40	22,23
		1200°C	19,05	19,05	15,88

As análises dadas na tabela 7 mostra o passo a passo das resistências de cada uma das pastilhas, de acordo com esses resultados podemos observa as amostras que obteve maior resistência, nesse caso foram as de 50# com 3 ton submetida a temperatura de 1150°C e 1200°C.

A tabela 8 a seguir apresenta os dados obtido nos ensaios de tensão demonstrando de acordo com cada tratamento e sua temperatura correspondente, acompanhado das medidas estatísticas.

Tabela 8: Análises dos dados das pastilhas de 50# e 100# em 2 e 3 Toneladas.

AMOSTRAS	ANÁLISES DOS DADOS						Temp. °C
	Pastilhas de 50 # em 2 Tonelada						
	Média (N)	Desvio P. (N)	CV (%)	Erro	L inf.	L sup.	
Tratamento 1	4,24	1,83	0,43	5,57	-1,33	9,81	900
Tratamento 2	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	950
Tratamento 3	7,41	1,84	0,25	5,59	1,82	13,00	1000
Tratamento 4	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	1050
Tratamento 5	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	1100
Tratamento 6	16,94	1,83	0,11	5,57	11,37	22,51	1150
Tratamento 7	16,94	1,83	0,11	5,57	11,37	22,51	1200
-	Pastilhas de 50 # em 3 Tonelada						-
Tratamento 8	3,18	0,00	0,00	0,00	3,18	3,18	900
Tratamento 9	7,41	3,67	0,50	11,20	-3,74	18,57	950
Tratamento 10	9,53	0,00	0,00	0,00	9,53	9,53	1000
Tratamento 11	10,59	1,83	0,17	5,57	5,02	16,16	1050
Tratamento 12	11,64	1,83	0,16	5,57	6,07	17,21	1100
Tratamento 13	27,52	1,84	0,07	5,59	21,93	33,11	1150
Tratamento 14	27,52	1,84	0,07	5,59	21,93	33,11	1200
-	Pastilhas de 100 # em 2 Tonelada						-
Tratamento 15	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	900
Tratamento 16	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	950
Tratamento 17	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	1000
Tratamento 18	7,41	1,84	0,25	5,59	1,82	13,00	1050
Tratamento 19	8,47	1,84	0,22	5,59	2,88	14,06	1100
Tratamento 20	20,11	1,84	0,09	5,59	14,52	25,70	1150
Tratamento 21	19,05	0,00	0,00	0,00	19,05	19,05	1200
-	Pastilhas de 100 # em 3 Tonelada						-
Tratamento 22	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	900
Tratamento 23	5,29	1,83	0,35	5,57	-0,28	10,86	950
Tratamento 24	6,35	0,00	0,00	0,00	6,35	6,35	1000
Tratamento 25	7,41	1,84	0,25	5,59	1,82	13,00	1050
Tratamento 26	7,41	1,84	0,25	5,59	1,82	13,00	1100
Tratamento 27	23,29	1,83	0,08	5,57	17,72	28,86	1150
Tratamento 28	17,99	1,83	0,10	5,57	12,42	23,56	1200

De acordo com os dados apresentados com o índice de confiabilidade de 95%, é possível determinar que os melhores resultados obtidos foram 50# com aplicação de 3 toneladas de carga nas temperaturas de 1150° a 1200°C, alcançando uma tenção de 27,52 N. De acordo com os resultados das tabelas acima os valores que obtiveram como CV < 15 %, logo, está serie apresenta baixa dispersão dos dados no entorno do valor da medida de tendência central, exceto das temperaturas de 900° à 1100, que obtiveram resultados acima 15 % apresentando média e alta dispersão dos dados no entorno do valor da medida de tendência central.

As pastilhas de 50# tratadas a uma carga de 2 toneladas tiveram a resistência maior na temperatura de 1150 e 1200°C, alcançando 16,94 N, observa-se que na aplicação de 3 toneladas as mesmas temperaturas apresentam maiores resultados, porém, em relação a 2 toneladas, teve um aumento na resistência quando sofreu um aumento na carga, obtiveram maiores valores atingindo 27,52 N em 3 toneladas.

No tratamento com a argila em 100# obtém o mesmo comportamento que os tratados com 50#, por outro lado, apresentaram resultados inferiores, este fato pode ser possivelmente explicado devido suas partículas serem menores, sendo assim, não apresentou maiores resistências.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a caracterização física da argila cerâmica, a matéria-prima foi considerada apropriada para a produção industrial de materiais cerâmicos, principalmente pela distribuição do tamanho das partículas, onde havia uma concentração adequada de silte e argila.

O uso dos métodos diretos ou simulativos para obter as propriedades tecnológicas das matérias primas tem sido relatado com o objetivo de fornecer uma visão geral dos ciclos industriais de produção, alguma informação sobre equipamentos básicos de laboratório que simulem adequadamente o processo industrial, bem como os procedimentos durante os estágios de processamento junto com os critérios de interpretação de dados e metodologia em diferentes tipologias cerâmicas.

Portanto, pode-se concluir que a composição da argila proporcionou, além da alta densidade, uma elevada resistência mecânica das peças, todo esse processo pode ser observado após a sinterização, no qual proporcionou a esta argila uma coloração clara, sendo indicada para a fabricação de produtos cerâmicos tradicionais e de artesanato, garantindo a qualidade produtiva dos materiais para o mercado, mais para isso é necessários estudos de caracterização para a confirmação dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, Carlos. **Propriedades Físicas e Químicas do Solo**. 2014. 5 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de Solo - Preparação Para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização**.

2 ed. São Paulo: Moderna, 1986. 9 p.

CAULINITA. 2003. Disponível em:

<<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/filossilicatos/caulinita.html>>.

Acesso em: 02 out. 2015.

COSTA, E. C.; **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística Fácil**. 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

DIAS, Leonardo Gonçalves. **Estudo do Processo de Secagem em Estufa e por Microondas de Compósitos Cerâmicos de Argila e Resíduos de Esteatito**. 2013. 99 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Energia, Departamento Ciências Térmicas e dos Flúidos, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2013.

DUMONT, Michel. **Canadian Minerals Yearbook (CMY)**. 2008. Disponível em:

<<http://www.nrcan.gc.ca/mining-materials/markets/canadian-minerals-yearbook/2008/commodity-reviews/8528>>. Acesso em: 01 set. 2015.

DUTRA, Ricardo. **Beneficiamento de Minerais Industriais**. In: Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2, 008, Paraná. 2008. p. 1 - 8.

FERREIRA, A.G., **Estudo de Viabilidade Técnica da Utilização de uma Chaminé Solar como Secador de Alimentos**. 2004. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

HECKROODT R.O. Clay and clay materials in South Africa. **Journal Of The South African Institute Of Mining And Metallurgy**. South Africa, p. 343-363. out. 1991.

HVORSLEV, M.J. **Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes**. Waterways Experiment Station – Vicksburg, Mississippi, 1949.

LEGGERINI, Maria Regina Costa. **Materiais Cerâmicos**. In: **Matérias Técnicas e Estruturas I**. S.I.: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2005. Cap. 2, p. 12.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando A. Freitas. **Rochas & Minerais Industriais Usos e Especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2008. 990 p.

MONTEMEZZO, Rodrigo Fabiano. **Estudo Comparativo de Ensaio de Compressão Confinada em Argila e Areia Saturadas Utilizando o Ensaio CRS**. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

NEVES, Orquídia. **Pedologia e Geoquímica**. 2005. 11 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Superior Técnico, Instituto Superior Técnico, Portugal, 2002.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 15270-3: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 27 p.

ROCHA, F. N.; SUAREZ, P. A. Z.; GUIMARÃES, E. M. **Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos**. Revista Virtual de Química, Brasília, v. 6, n. 4, p.1105-1120, 12 jun. 2014.

SANTOS, P. S. **Ciências e tecnologia de argila**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 408 p.