



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALURGICA E DE MATERIAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE**  
**MATERIAIS**

**FRANCISCA IRLEIDE LIMA PAZ**

**INCORPORAÇÃO DE PÓ DE TRAQUITO EM MASSA CERÂMICA PARA**  
**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO**

**FORTALEZA**

**2020**

FRANCISCA IRLEIDE LIMA PAZ

INCORPORAÇÃO DE PÓ DE TRAQUITO EM MASSA CERÂMICA PARA PRODUÇÃO  
DE BLOCOS DE VEDAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais. Área de concentração: Propriedades físicas e mecânicas dos materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Emilio Ferreira Quevedo Nogueira.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P368i Paz, Francisca Irleide Lima.  
Incorporação de pó de traquito em massa cerâmica para produção de blocos de vedação / Francisca Irleide Lima Paz. – 2020.  
56 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Emilio Ferreira Quevedo Nogueira .

1. Solo argiloso. 2. Feldspato. 3. Álcalis. I. Título.

CDD 620.11

---

FRANCISCA IRLEIDE LIMA PAZ

INCORPORAÇÃO DE PÓ DE TRAQUITO EM MASSA CERÂMICA PARA PRODUÇÃO  
DE BLOCOS DE VEDAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais. Área de concentração: Propriedades físicas e mecânicas dos materiais.

Aprovada em: 13 / 03 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Emilio Ferreira Quevedo Nogueira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Irani Clezar Mattos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Joelane Maria de Carvalho Teixeira  
Centro Universitário Fanor Wyden

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, pelas conquistas e por todas as vezes que Ele me fez crer em um amanhã melhor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro (código de financiamento 001), buscando sempre promover a educação e o desenvolvimento de pesquisas.

Aos meus familiares, em especial, aos meus pais, Ailany e Francisco, minhas tias Luceni, Aila, Mundinha e Sueli, meus tios e avós, pelo apoio, pelas orações, por cada segundo dedicado a mim.

Ao meu amigo e companheiro, Antoniel, pelo apoio e incentivo, ajudando-me sempre que necessário.

Aos amigos que me apoiaram e aos colegas adquiridos ao longo dessa etapa, muitos que acabaram se tornando amigos também, pelos momentos de estudo como pelos momentos de descontração.

À Joel Pedrosa pelo intermédio com o departamento de geologia, bem como ao pesquisador Dr. Sílvio Albuquerque pela disposição, e aos demais colaboradores que colaboraram quanto a realização dos ensaios e o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Ricardo Emilio, pela orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dra. Irani Mattos e Dra. Joelane Teixeira pelo tempo disponibilizado, pelas valiosas colaborações e sugestões.

“...Um mesmo objeto ou fenômeno pode ser matéria de observação tanto para um cientista como para um homem comum. O que os difere é a forma de observação. Lakatos e Marconi”

## RESUMO

O presente estudo buscou analisar a influência da incorporação do pó do resíduo da rocha traquito sobre a queima de blocos cerâmicos de vedação. Essa influência foi considerada porque a alcalinidade desse tipo de rocha, dada pela concentração do mineral feldspato em sua composição, promove a ação fundente. Para a preparação dos corpos de prova foi coletado o resíduo de traquito em São Gonçalo do Amarante-CE e utilizado solo argiloso do município de Russas-CE. O solo argiloso e o resíduo de traquito foram submetidos às caracterizações física, química e mineralógica pelos ensaios de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX) e o solo argiloso, ainda, foi submetido às caracterizações de plasticidade e teor de umidade. Após a confecção dos corpos de prova de acordo com a metodologia proposta, os mesmos foram submetidos à ensaios tecnológicos de retração linear, absorção de água e resistência à compressão uniaxial. A partir dos resultados obtidos, considerou-se satisfatória a incorporação de 5% em resíduo de traquito na massa cerâmica para fabricação de blocos cerâmicos de vedação, favorecendo em até 50°C a redução da temperatura necessária para realizar a queima dos mesmos, sem haver perda de resistência, deformação ou aumento de absorção de água.

**Palavras-chave:** Solo argiloso. Feldspato. Álcalis.

## ABSTRACT

This research sought to analyze the influence of incorporating trachyte rock waste on the production of ceramic sealing bricks. This influence was considered because the alkalinity of this type of rock, given by the concentration of the feldspar mineral in its composition, promotes the melting action. For the preparation of the specimens, the trachyte waste was collected in São Gonçalo do Amarante-CE and was used clay soil from Russas-CE. The clay soil and the trachyte waste were submitted to the physical, chemical and mineralogical characterization, through X-Ray Fluorescence (XRF) and X-Ray Diffraction (XRD), and the clay soil was also submitted to plasticity and moisture content test went. After the preparation of the specimens according to the proposed methodology, they were submitted to the linear retraction, water absorption and resistance to the uniaxial compression test. As of the results obtained in the technological tests carried out with the specimens, the incorporation of 5% in trachyte waste in the ceramic mass for the production of ceramic sealing bricks was considered satisfactory, favoring up to 50°C the reduction of the temperature necessary to carry out the burning of them, without loss of resistance, deformation or increase in water absorption.

**Keywords:** Clay soil. Feldspar. Alkali.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema das estruturas cristalinas dos minerais da argila e suas camadas. ....	16
Figura 2 – Diagrama Total Alkali vs. Silica (TAS).....	18
Figura 3 – Fluxograma demonstrativo dos procedimentos adotados para preparação e a análise dos corpos de prova. ....	24
Figura 4 – Amostra do solo argiloso.....	25
Figura 5 – Ensaio de Limite de Liquidez do solo argiloso. ....	26
Figura 6 – Frações retiradas da amostra do solo argiloso.....	27
Figura 7 – Ensaio de sedimentação para retirada de quartzo. ....	28
Figura 8 – Gráfico para cálculo do valor do Limite de Liquidez do solo argiloso ensaiado. .	33
Figura 9 – Sobreposição dos difratogramas das amostras do solo argiloso natural, com sedimentação do quartzo e após tratamento com etileno-glicol. ....	36
Figura 10 – Indexação das fases no difratograma da amostra de solo argiloso.....	37
Figura 11 – Comportamento característico do quartzo e do feldspato em difratogramas. ....	37
Figura 12 – Indexação das fases no difratograma da amostra do resíduo de traquito. ....	38
Figura 13 – Demonstração das peças após a etapa de secagem. ....	39
Figura 14 – Demonstração das peças após a etapa de queima. ....	39
Figura 15 – Influência dos percentuais de incorporação no índice de absorção de água (AA) por temperatura de queima. ....	44
Figura 16 – Relação entre os percentuais de incorporação e as resistências por temperatura. .	47
Figura 17 – Relação entre as resistências e as temperaturas de queima por percentual de incorporação. ....	48
Figura 18 – Comparação entre os gráficos obtidos no ensaio de DSC.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado obtido para o teor de umidade do solo argiloso ensaiado. ....	31
Tabela 2 – Resultado encontrado para o Limite de Liquidez do solo argiloso ensaiado. ....	32
Tabela 3 – Resultado encontrado para o Limite de Plasticidade do solo argiloso.....	33
Tabela 4 – Classificação da amostra de acordo com sua plasticidade. ....	34
Tabela 5 – Fluorescência das amostras.....	35
Tabela 6 – Índice de absorção de água para os corpos de prova sem incorporação, queimados a 900°C. ....	40
Tabela 7 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 880°C.....	41
Tabela 8 – Índice de absorção de água para os corpos de prova queimados a 870°C.....	41
Tabela 9 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 860°C.....	42
Tabela 10 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 850°C.....	42
Tabela 11 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 830°C.....	43
Tabela 12 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 900°C. ....	45
Tabela 13 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 880°C. ....	45
Tabela 14 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 870°C. ....	46
Tabela 15 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 860°C. ....	46
Tabela 16 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 850°C. ....	47
Tabela 17 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados à 830°C. ....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Índice de Absorção de Água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE	Ceará
CIF	Crystallographic Information File
CPSI	Corpo de Prova Sem Incorporação
CPCI-5	Corpo de Prova Com Incorporação de 5%
CPCI-10	Corpo de Prova Com Incorporação de 10%
CPCI-15	Corpo de Prova Com Incorporação de 15%
COD	Crystallography Open Database
DRX	Difração de Raios-X
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
<i>Et al.</i>	Entre outros
FRX	Fluorescência de Raios-X
ICSD	Inorganic Crystal Structure Database
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
TAS	Total Alkali vs. Silica

## LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
g	Gramma
h	Hora
w	Teor de Umidade
KV	Quilovolts
mA	Miliampére
mL	Mililitro
MPa	Mega Pascal
T	Temperatura
mm	Milímetro
%	Porcentagem
t	Tonelada
°C	Graus Celsius
°C/min	Graus Celsius por minuto
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
1:1	Um para um
2:1	Dois para um
1/3	Um terço
θ	Teta
λ	Lambda
Å	Angstrons
°	Grau

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Argila</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Traquito</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Processo de fabricação da cerâmica vermelha</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Ensaio para caracterização física das amostras</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Teor de umidade do solo argiloso</i> .....	<b>25</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Plasticidade do solo argiloso</i> .....	<b>25</b>
<b>4.1.2.1</b>	<i>Limite de Liquidez (LL)</i> .....	<b>25</b>
<b>4.1.2.2</b>	<i>Limite de Plasticidade (LP)</i> .....	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Ensaio para caracterização química das amostras</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Fluorescência de Raios X (FRX)</i> .....	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>Ensaio para caracterização mineralógica das amostras</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3.1</b>	<i>Difração de Raios X (DRX)</i> .....	<b>27</b>
<b>4.4</b>	<b>Ensaio tecnológico para caracterização dos corpos de prova</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4.1</b>	<i>Retração</i> .....	<b>29</b>
<b>4.4.2</b>	<i>Índice de absorção de água</i> .....	<b>29</b>
<b>4.4.3</b>	<i>Resistência a compressão axial</i> .....	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização física das amostras</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1.1</b>	<i>Teor de umidade do solo argiloso ensaiado – w</i> .....	<b>31</b>
<b>5.1.2</b>	<i>Plasticidade do solo argiloso ensaiado</i> .....	<b>32</b>
<b>5.1.2.1</b>	<i>Limite de Liquidez – LL</i> .....	<b>32</b>
<b>5.1.2.2</b>	<i>Limite de Plasticidade – LP</i> .....	<b>33</b>
<b>5.1.2.3</b>	<i>Índice de plasticidade – IP</i> .....	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Caracterização química das amostras</b> .....	<b>34</b>
<b>5.2.1</b>	<i>Fluorescência de raios X</i> .....	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>Caracterização mineralógica das amostras</b> .....	<b>35</b>

<b>5.3.1</b>	<b><i>Difração de Raios-X: identificação das fases</i></b> .....	<b>35</b>
5.3.1.1	<i>Amostra do solo argiloso</i> .....	35
5.3.1.2	<i>Amostra de traquito</i> .....	37
<b>5.4</b>	<b>Caracterização tecnológica dos corpos de prova</b> .....	<b>38</b>
<b>5.4.1</b>	<b><i>Retração</i></b> .....	<b>38</b>
<b>5.4.2</b>	<b><i>Índice de absorção de água – AA</i></b> .....	<b>40</b>
<b>5.4.3</b>	<b><i>Resistência à compressão axial</i></b> .....	<b>44</b>
<b>5.4.4</b>	<b><i>Ensaio de DSC/TG</i></b> .....	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos tem sido uma questão bastante discutida, tendo em vista o grande volume gerado, o alto custo despendido para armazenar ou depositar estes resíduos em locais legalmente autorizados, bem como pelo interesse, principalmente por parte das indústrias, em torná-los úteis aos seus próprios processos e produtos ou para processos e produtos de outro setor industrial. Diversos tipos de resíduos estão sendo caracterizados e testados como substituição de matérias primas em escassez ou incorporados com o intuito de melhorar propriedades de produtos. Grande parte desses estudos de caracterização e utilização de resíduos tem buscado a indústria cerâmica e de construção civil, já que estas, de modo geral, conseguem absorver bem várias propriedades físicas e químicas dos resíduos incorporados.

Além da importância de se conhecer as características do resíduo, é importante conhecer, também, o comportamento das propriedades finais do produto ao qual se deseja propor modificações, de acordo com a matéria prima empregada. Tratando-se de cerâmicos, por exemplo, a presença de matéria orgânica torna a massa mais plástica e aumenta a porosidade das peças, conseqüentemente, favorece uma maior absorção de água que posteriormente pode levar a sérias patologias, como a formação do “coração negro” (redução do óxido de ferro) (SANCHEZ-MUÑOZ *et al.*, 2002). A presença de sílica livre (como quartzo na areia) ajuda a controlar o excesso de plasticidade da massa (que favorece a redução da retração principalmente na fase de secagem), interferindo positivamente na formação do vidrado, porém, diminuindo a resistência mecânica das peças. Os minerais de cálcio e de ferro influenciam na cor das peças, resultando em peças esbranquiçadas ou avermelhadas, respectivamente. Já a presença de alumina e/ou de álcalis interferem no ponto de fusão, logo na temperatura necessária para a queima desses cerâmicos (ANDRADE; SAMPAIO *et al.*, 2005).

Materiais cerâmicos são agregados de minerais que, quando expostos a temperaturas elevadas, formam sólidos com propriedades físicas e mecânicas características. Assim, para cada tipo de produto cerâmico, haverá, além de uma mistura específica, uma temperatura adequada para se atingir as características almejadas.

A lavra e o beneficiamento de uma rocha compreende, basicamente, a retirada de blocos e o processo de transformação desses blocos em chapas ou outro tipo de peça desejada. Em meio a esses processos, além da geração de resíduo em forma de lama devido o pó liberado, há também o descarte de fragmentos, as lascas ou aparas. Só na lavra de rochas

ornamentais, por exemplo, segundo o Informe de Recursos Minerais do Brasil de 2016 (GOMES *et al.*, 2016) são desperdiçados cerca de 60% do extraído.

Embora o uso do fio diamantado já ser bastante difundido, apresentar um bom custo/benefício e dar um melhor acabamento para o beneficiamento das chapas com fins ornamentais, ainda encontram-se lavras rudimentares artesanais e com pouca mecanização que extraem pedras de talhe, principalmente da rocha traquito, cuja utilização é destinada para alicerces e calçamentos. Uma outra observação, feita por Silva e Castro (2011), que também recai sobre as rochas ornamentais é o fato de rochas com altos percentuais de quartzo e feldspato potássico ter maior resistência à serragem e, conseqüentemente, resultar na geração de um volume maior de resíduo no seu beneficiamento. Esses resíduos, quando não podem mais ser armazenados próximos às jazidas de extração, acabam sendo depositados ao longo de estradas e à margem de lagoas e rios, gerando ou agravando problemas ambientais, o que justifica, então, a busca por soluções que permitam o uso desses resíduos, retirando-os do meio ambiente.

Baseado nisso, propôs-se um estudo que buscasse dar utilidade ao resíduo formado a partir da lavra e do beneficiamento de uma rocha usada para fins ornamentais, o traquito, conhecido comercialmente, também, por *Woodstone*. Foi analisado a incorporação desse resíduo, em forma de pó, obtido a partir das lascas geradas durante o beneficiamento, na massa cerâmica utilizada para produção de blocos de vedação. Enfatizou-se a influência da incorporação sobre a temperatura necessária para realizar a queima dessas peças, buscando reduzi-la, o que refletiria na redução do custo energético empregado, mas ainda mantendo os padrões mínimos de resistência e absorção de água exigidos pela NBR 15270-1/2017, além de minimizar impactos ambientais e ajudar na recuperação das jazidas em atividade.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Argila

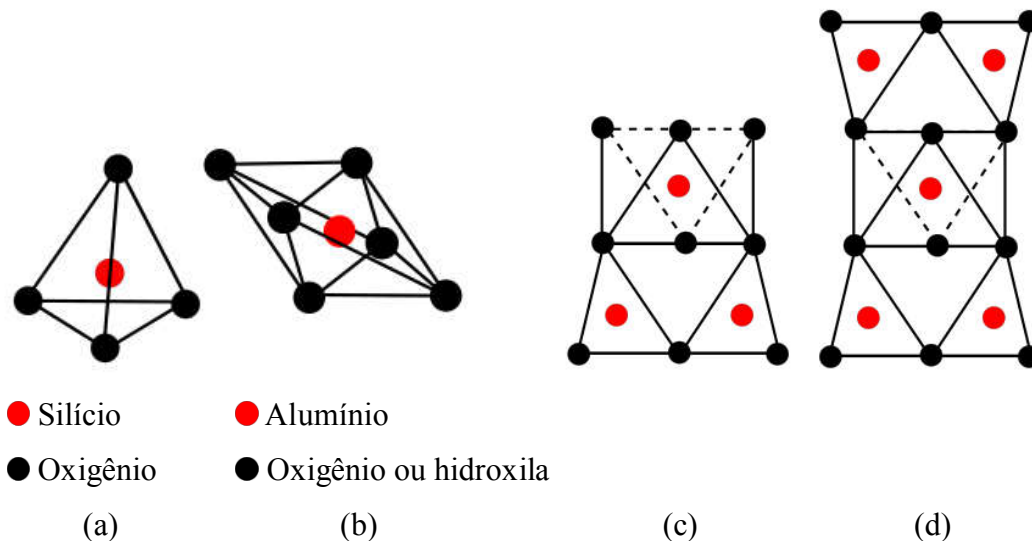
Dentre as diversas definições que podem ser encontradas, argilas são materiais naturais caracterizados por sua alta plasticidade e coesão, compostas por partículas dispersas encontradas na fração granulométrica inferior a 0,002mm de um solo. Em uma definição microscópica, são materiais constituídos de estruturas cristalinas extremamente pequenas, formadas por uma quantidade restrita de minerais, os argilominerais. As argilas podem ser formadas por um único argilomineral, por um agregado contendo diferentes tipos de argilominerais, resultantes da degradação do feldspato de rochas ígneas, o que explica seu teor alcalino, por outros minerais cristalinos e substâncias, como matéria orgânica, quartzo, mica, ou ainda, por materiais amorfos, como o carbono (SANTOS, 1989).

O ambiente em que a argila se encontra depositada, bem como as intempéries que podem estar agindo sobre a mesma e a quantidade de matéria orgânica presente no solo são os principais fatores que influenciam na sua composição química. A coloração da argila, como matéria bruta ou após a queima, será definida principalmente pelo teor de ferro presente nessa composição: tons avermelhados indicam um maior grau de óxido de ferro e tons mais claros indicam um grau menor (ROSSI, 1999 apud ZACCARON, 2013). Outro ponto importante é a presença de alumina na composição química das argilas: sua alta concentração pode fazer com que as peças cerâmicas se deformem bastante no cozimento.

As argilas apresentam dois tipos de estruturas: tetraédrica (FIGURA 1a), formada por átomos de silício ligados a 4 átomos de oxigênio [ $\text{SiO}_2$ ] e octaédricas (FIGURA 1b), com átomos de alumínio envolvidos por átomos de oxigênio ou hidroxilas [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ] (PINTO, 2000). Alguns minerais de argila são formados por estruturas de camadas 1:1 (FIGURA 1c), com uma camada tetraédrica para uma camada octaédrica e ligação feita pelas partículas de hidrogênio, típica da caulinita e da haloisita. Já outros são formados por estruturas de camadas 2:1 (FIGURA 1d), com uma camada octaédrica para cada duas camadas tetraédricas, ligadas por íons de  $\text{O}^{2-}$  e  $\text{O}^{2+}$ , típico da esmectita (pertencente ao grupo das montmorilonitas) e da illita (pertencente ao grupo das micas). De acordo com essas estruturas, conseqüentemente com os minerais, determinadas características serão atribuídas com maior ou menor intensidade. Como por exemplo, argilas formadas por caulinita apresentam maior resistência que argilas formadas por esmectita e illita. Em contrapartida, apresenta uma menor superfície

específica quando analisado grão a grão, ou seja menos fino e menos compactável se tornará o solo.

Figura 1 – Esquema das estruturas cristalinas dos minerais da argila e suas camadas.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Algumas características atribuídas pela argila a um solo podem ser estimadas estando este solo no seu estado natural (granulometria, formato das partículas, composição química), outras no seu estado plástico (plasticidade) e outras no seu estado cerâmico (tensão de ruptura, retração linear, porosidade). São essas características que determinarão se um determinado solo é indicado para produção de materiais cerâmicos ou se sua aplicação seria mais indicada como insumo para preparação de argamassas e concretos, por exemplo.

## 2.2 Traquito

O traquito é uma rocha ígnea extrusiva, cujo equivalente intrusivo é o sienito. No Ceará, suas unidades possuem idade Cenozoica e podem ser encontrados como *necks* (quando há a consolidação do magma dentro de uma chaminé vulcânica) formado pelo magmatismo Messejana, concentradas na Grande Fortaleza e nas cidades circunvizinhas, principalmente em São Gonçalo do Amarante e Caucaia (GOMES *et al.*, 2016). Antigamente sua extração se dava para prover blocos de pavimentação de calçadas e estradas. Com o aperfeiçoamento das técnicas de extração e beneficiamento, a partir de sua capacidade de resistir à ação mecânica, o traquito passou a ser cortado em chapas finas, que após o polimento são comercializadas

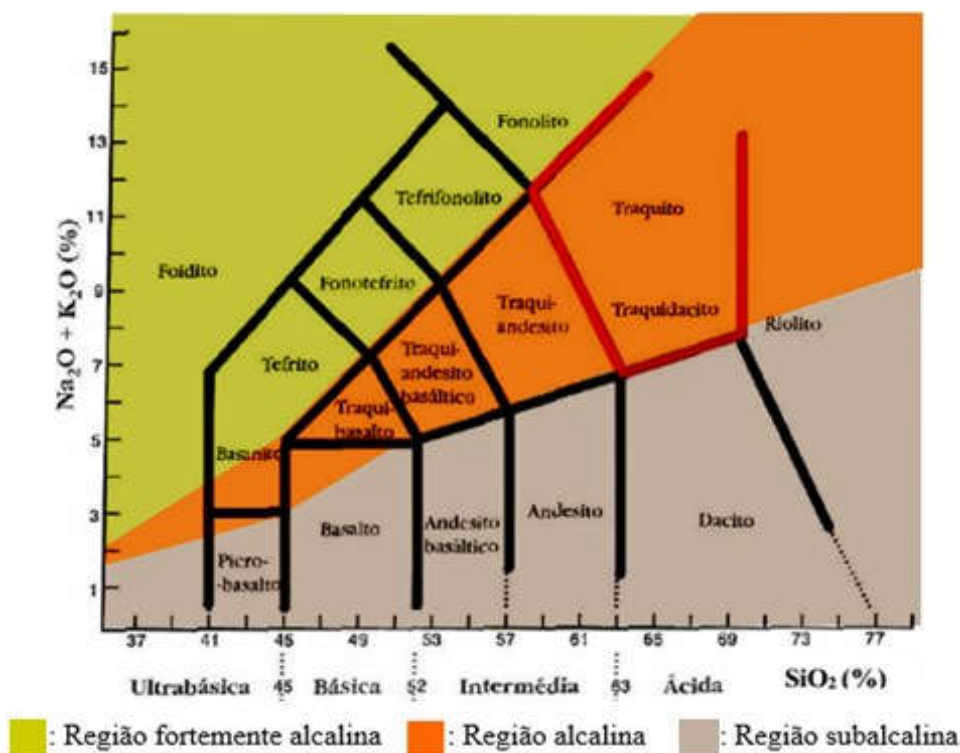
para fins ornamentais de revestimentos internos de edificações. Segundo Gomes *et al.* 2012, após o preparo das chapas, o traquito geralmente é comercializado como *Woodstone* e pode ainda receber outras nomeações como *Tartaruga*, *Palomino*, *Saint-Laurent*, *Wasabi* e *Blue Mare*.

Sua textura é considerada afanítica-porfirítica, possuindo assim, imersos em sua matriz, minerais de grande granulometria, os fenocristais (característico de texturas porfiríticas), além de minerais de granulometria fina difíceis de se identificar a olho nu (característico de texturas afaníticas) (BOIVIN *et al.*, 2005). Segundo Gonçalves (2010), esses fenocristais encontrados geralmente são minerais de quartzo e principalmente de feldspato. Os minerais de feldspato, por sua vez, são silicatos de alumínio com diferentes proporções de potássio, sódio, cálcio e raramente bário, que de acordo com as condições em que foram formados, apresentam-se como soluções sólidas alcalinas, plagioclásias ou outras raras. Como minerais alcalinos, podem ser citados a microlina ( $K(AlSi_3O_8)$ ), a ortoclásia ( $K(AlSi_3O_8)$ ), a sanidina ( $K(AlSi_3O_8)$ ) e a anortoclásia ( $(Na,K)(AlSi_3O_8)$ ), como minerais plagioclásios tem-se a albita ( $Na(AlSi_3O_8)$ ) como extremo sódico, a oligoclásia ( $(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$ ), a andesina ( $(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$ ), a labradorita ( $(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$ ) e a bitaunita ( $(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$ ) como intermediários e a anortita ( $Ca(Al_2Si_2O_8)$ ) como extremo cálcico. (TEIXEIRA *et al.*, 2011; BIFFI, 2002). Essas fases minerais de feldspato indicam as condições físicas e térmicas que a rocha passou desde sua formação (LIRA; NEVES, 2013).

Segundo o diagrama TAS (Total Alkali vs. Silica), proposto por Le Bas *et al.* (1989), que vem sendo usado desde então na classificação das rochas, o traquito se encontra na região definida como alcalina (FIGURA 2), entre as regiões demarcadas pelas rochas fortemente alcalinas e subalcalinas. Esse diagrama relaciona os percentuais de  $Na_2O$  e de  $K_2O$  (ligados à presença de feldspato) com o percentual de  $SiO_2$  (ligado à presença de quartzo).

Quanto à composição química do traquito, podem ser encontrados óxidos cujos compostos variam entre silício, alumínio, potássio, sódio, cálcio, ferro, e em alguns casos podem ser identificados, ainda, óxidos compostos por fósforo, titânio, zinco e manganês.

Figura 2 – Diagrama Total Alkali vs. Silica (TAS).



Fonte: Adaptado de Oliveira (2017).

O traquito explorado em São Gonçalo do Amarante-CE apresenta uma intensa formação de redes de fratura, que acabam permitindo a percolação de fluidos tardios ricos em ferro, que mesclam a rocha com tons marrom terrosos, compondo uma estrutura hexagonal a concêntrica (GOMES *et al.*, 2016). Assim, por apresentar colorações tão diversificadas, esse traquito é considerado uma rocha exótica e por isso possui valor comercial maior até que o do granito.

A aplicação de materiais ricos em minerais de feldspato, logo rico em álcalis, tem sido estudada para remineralização do solo e para tentar proporcionar a queima de peças cerâmicas a uma temperatura mais baixa que a tradicional. Além disso, espera-se que a adição desses materiais possa ajudar na redução da porosidade, assim como observado por Riella *et al.* (2002), que o líquido liberado durante a etapa de queima tende a preencher os vazios das peças reduzindo o tamanho das cavidades ou até mesmo eliminando-as, de acordo com a viscosidade atingida.

A partir das observações citadas acima, destacam-se alguns exemplos de estudos desenvolvidos: Andrade *et al.* (2005), que analisou o efeito da adição de 20% e 40% de fonolito no processo de sinterização de argila caulínica, concluindo que, de acordo com sua metodologia adotada, ambas as incorporações contribuíram na melhoria das propriedades de

queima, porém 40% de fonolito apresentam uma brusca variação da retração linear; Araújo (2008) que analisou a influência da adição de fundentes na massa cerâmica para telhas onde um desses fundentes era feldspato potássico adicionado em diferentes percentuais, observando que este colabora para redução dos valores de absorção de água e que em alguns casos tende a diminuir, também, a tensão de ruptura à flexão, ao relacionar-se com o percentual de quartzo; Por fim, Coletti (2016) analisou o uso de rejeito de traquito na produção de tijolos como substituição à argila em 5%, 10% e 15%, obtendo como melhor resultado o percentual de 15% e Arzilli (2018) estudou a presença de feldspato alcalino nas formações traquíticas.

### **2.3 Processo de fabricação da cerâmica vermelha**

Para melhor compreender como são fabricadas as peças de cerâmica vermelha, o processo foi separado em cinco etapas principais: a extração da matéria prima (solo argiloso), a preparação da massa, a moldagem, a secagem e a queima. Essas etapas serão detalhadas nos parágrafos que se seguem, baseando-se nas informações técnicas fornecida pela Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), de forma a destacar pontos que podem influenciar na qualidade final das peças produzidas.

A extração pode ser iniciada após a autorização emitida pela Secretaria de Meio Ambiente local. Devem ser respeitadas as margens entre a escavação e a vegetação, de acordo com o estabelecido por essa secretaria. Após a escavação, a matéria-prima deve ser colocada em áreas descobertas e ser misturada periodicamente, a fim de equilibrar o efeito da pressão atmosférica sobre o material e melhorar suas propriedades plásticas. Esse processo leva o nome de apodrecimento da argila, também conhecido como sazonalamento (VELDE, 1995 apud GAIDZINSKI et. al, 2005).

Para o preparo da massa, além de serem desagregados os torrões e separadas raízes ou alguma outra matéria orgânica que possam estar misturadas ao solo, algumas olarias realizam o peneiramento para ter controle sobre as frações de areia, silte e argila, em outras, o peneiramento é usado apenas para controle da granulometria total do solo utilizado. Se necessário, são realizadas adições previstas para que a mistura esteja nas condições ideais para sua determinada utilização, passando para a etapa de moldagem.

É na moldagem que a massa recebe a conformação desejada. As peças que apresentam algum defeito após a moldagem devem ser desfeitas e levadas, novamente, à preparação. De acordo com a peça a ser fabricada, essa moldagem pode se dar por extrusão, moldagem manual ou prensagem e ser feita com massa seca ou semi-seca (4% a 10% de

água), consistente (20% a 35% de água), mole (25% a 40% de água) ou com massa fluida (30% a 50% de água). Esses percentuais de água foram indicados segundo Kazmierczak (2010). A massa consistente é mais utilizada para moldagem por extrusão, que é o método utilizado para fabricação de blocos estruturais ou de vedação e telhas, devido a estrutura da máquina extrusora, chamada, também de “maromba”, onde a massa é forçada para dentro dessa extrusora através de um pistão, compactando-a e dando a forma desejada ao produto. Já para a moldagem de tijolos maciços, é comum a utilização de uma massa mais mole, visto que na maioria das olarias que ainda produzem esse tipo de tijolo, a moldagem ser manual, onde a massa preparada é colocada sobre formas de madeira recobertas com areia fina para ajudar na desforma. Quanto as placas cerâmicas para revestimento, a moldagem se dá a seco.

A secagem tem a finalidade de retirar grande parte da umidade antes da peça ser queimada, diminuindo o surgimento de tensões internas e, conseqüentemente, evitando que a peça fique fissurada após a queima. Assim como na etapa de moldagem, a secagem, também, possui métodos diferentes de ser realizada: secagem natural por exposição ao sol e a secagem artificial, por injeção de ar quente-úmido, por radiação infravermelha ou utilizando secadores de túneis. O método mais comum é a secagem natural, porém, requer mais tempo e um espaço maior. Em linhas de produção mais modernas, geralmente a secagem se dá em túneis ou por injeção de ar quente-úmido.

É na queima que ocorrem as reações químicas que determinarão as características do produto final, como a resistência mecânica e a porosidade. Para que se favoreça ou não determinada reação é necessário controlar a temperatura, a taxa de aquecimento e de resfriamento, bem como escolher o tipo de forno mais adequado ao produto em fabricação. Para o cozimento podem ser usados fornos contínuos ou intermitentes: os fornos contínuos possuem trilhos, de modo que, a carga ou a aplicação do fogo seja móvel; e os fornos intermitentes possuem propagação de calor ascendente ou descendente, com cozimento de um lote de peças por cada vez. É uma das etapas mais caras em comparação com as demais, tendo em vista a necessidade de preparar e empregar pessoas que realmente realizem o controle rigoroso dessa etapa, bem como pelo custo energético dispendido.

Concluída a produção, as peças são submetidas à inspeção visual, para que sejam descartadas peças defeituosas contendo trincas ou aquelas que ficaram mais próximas a fonte de calor e dessa forma queimaram excessivamente. Dentre os lotes, devem ser separadas amostras para realização de ensaios de resistência e para conferência das dimensões. As peças que estiverem de acordo com os padrões exigidos por suas respectivas normas

regulamentadoras, devem ser armazenadas corretamente em galpões para aguardar sua comercialização.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Propor a incorporação do pó do resíduo da rocha traquito extraído de jazidas localizadas em São Gonçalo do Amarante-CE em massa cerâmica para produção de blocos de vedação de acordo com o processo produtivo do município de Russas-CE, buscando reduzir a temperatura de queima, sem que haja perda na qualidade das peças.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Realizar a caracterização física, química e mineralógica das amostras de solo argiloso e do pó do resíduo de traquito;
- Produzir corpos de prova com incorporação de pó do resíduo do traquito nas porcentagens de 5%, 10% e 15% sobre a quantidade, em massa, do solo argiloso utilizado na mistura e observar a relação entre temperatura de queima, resistência mecânica e porosidade (através do índice de absorção de água).
- Buscar entre os percentuais de incorporação ensaiados, aquele que além de atender aos requisitos mínimos da NBR 15270-1/2017, apresente características iguais ou superiores às características alcançadas pelos corpos de prova sem incorporação.



#### 4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para a confecção dos corpos de prova foram utilizados os seguintes materiais: solo argiloso, coletado da pilha de estocagem de uma olaria no município de Russas-CE; lascas de traquito coletado em uma jazida no município de São Gonçalo do Amarante-CE; e água, em temperatura ambiente. Após a coleta, o solo foi quarteado, seco naturalmente, desagregado com um pilão manual e peneirado para que se obtivesse granulometria máxima passante na peneira com malha de 0,42mm, a fim de preparar o material e produzir os corpos de prova com características próximas a comumente utilizadas por grande parte das olarias no município de Russas-CE. Quanto ao traquito, as lascas coletadas tidas como resíduo, foram transformadas em pó com o auxílio de um moinho de anéis, adotando 1 ciclo de 5min e realizando o peneiramento logo em seguida, com o intuito de descobrir a granulometria máxima do pó obtido ao final da moagem e padronizá-lo.

Após a preparação descrita acima, tanto o solo argiloso quanto o pó de traquito foram submetidos às caracterizações física, química e mineralógica por meio dos ensaios de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX). O solo argiloso passou, também, por ensaios básicos de caracterização de solos, como plasticidade (limites de liquidez e de plasticidade) e teor de umidade. Todos esses ensaios foram detalhados mais à frente.

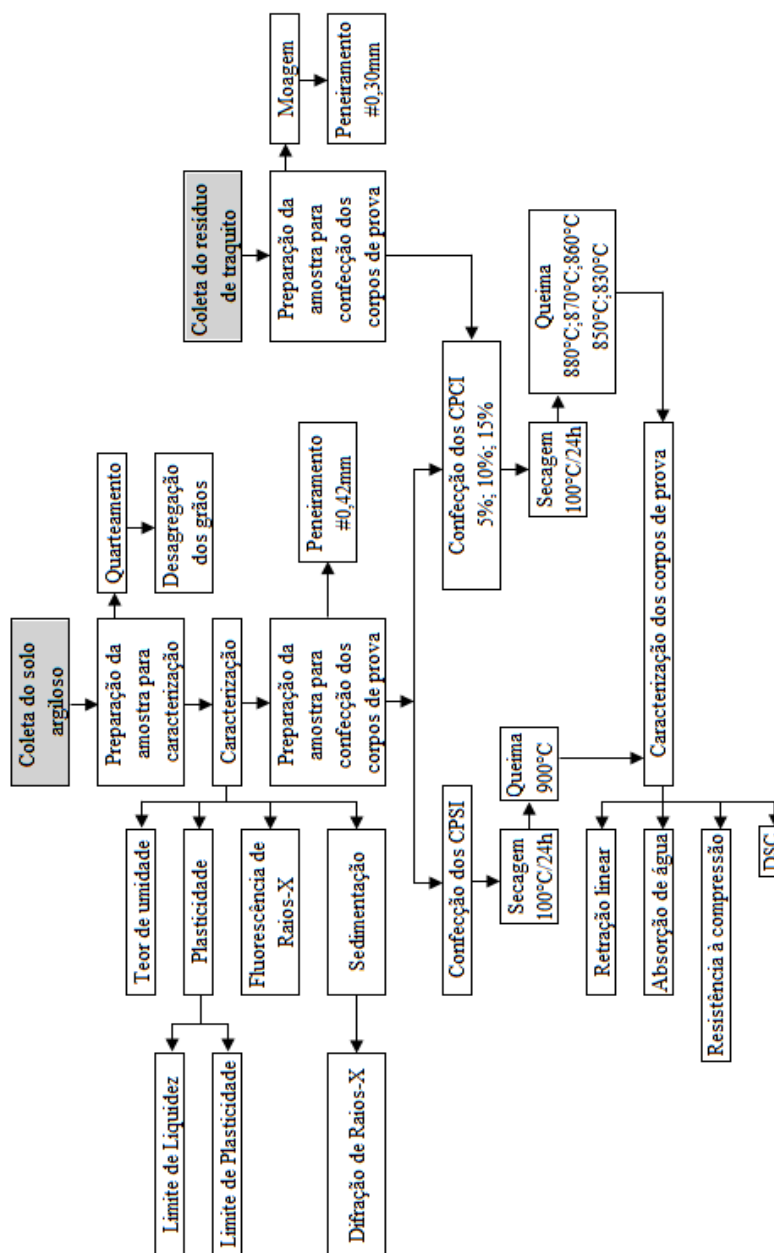
Em sequência, foram confeccionados 160 corpos de prova cilíndricos com 40mm de diâmetro por 9mm de altura, utilizando massa plástica consistente com percentual de água de 20%, moldagem por compressão uniaxial (prensagem) com carga de 3t, seguida de secagem em estufa (secagem artificial) a 100°C por 24h e queima em forno elétrico com taxa de aquecimento de 10°C/min e patamar de 1h ao atingir a temperatura máxima ensaiada em cada queima. As características adotadas para preparação da massa e na realização das etapas de moldagem, secagem e queima dos corpos de prova, buscaram simular o processo típico de fabricação dos blocos de vedação adotado pelas olarias.

Dos 160 corpos de prova produzidos, 10 foram confeccionados sem incorporação e queimados a 900°C (CPSI) e ou outros 150 foram confeccionados contendo a incorporação de resíduo nas proporções de 5% (CPCI-5), 10% (CPCI-10) e 15% (CPCI-15), queimados a 880°C, 870°C, 860°C, 850°C e 830°C, em grupos de 10 corpos de prova para cada combinação de incorporação e temperatura. Os percentuais incorporados foram calculados a partir da quantidade de solo argiloso, em massa, utilizada nos CPSI. As misturas de solo argiloso/traquito foram realizadas a seco, manualmente. As temperaturas empregadas na

queima foram estabelecidas aleatoriamente, de acordo com os resultados que iam sendo obtidos. Após a queima dos corpos de prova, os mesmos foram submetidos aos ensaios tecnológicos de resistência à compressão uniaxial, retração e absorção de água. Para buscar entender o comportamento apresentado pelos corpos de prova queimados à 830°C, foi realizado, ainda, a análise térmica pelo ensaio de DSC.

A figura 3 a seguir mostra, através de um fluxograma, a sequência dos procedimentos realizados.

Figura 3 – Fluxograma demonstrativo dos procedimentos adotados para preparação e a análise dos corpos de prova.



## 4.1 Ensaio para caracterização física das amostras

### 4.1.1 Teor de umidade do solo argiloso

Foram pesadas 3 amostras do solo argiloso (FIGURA 4), levadas à estufa por 16h a uma temperatura de 105°C e quando retiradas, foram novamente pesadas para que se calculasse o teor de umidade, de acordo com o procedimento da NBR 6457/2016.

Figura 4 – Amostra do solo argiloso.



Fonte: Autoria própria (2019).

### 4.1.2 Plasticidade do solo argiloso

As amostras utilizadas para realização dos ensaios dos Limites de Liquidez e de Plasticidade foram obtidas de acordo com o item 5.1.3 da NBR 6457/2016, que regulamenta a preparação de amostras de solo para ensaios de compactação ou de caracterização.

#### 4.1.2.1 Limite de Liquidez (LL)

Foram colocadas 100g do solo argiloso em um recipiente e adicionado água destilada (FIGURA 5a), homogeneizando-a até que se obtivessem consistências tais que fossem necessários proceder, pelo menos, 35 golpes para fechar ranhuras padrões feitas na amostra no Aparelho de Casagrande (FIGURA 5b). A mesma amostra de solo argiloso utilizado no procedimento acima foi devolvida ao recipiente para que recebesse pequenos

incrementos de água e se obtivessem mais 4 consistências tais que fossem necessários proceder entre, no máximo, 35 golpes e, no mínimo, próximo a 15 golpes, decrescentemente. Para cada incremento foi retirada uma fração, e todas foram levadas à estufa por 16h a uma temperatura de 105°C e então calculado suas umidades. Esse procedimento pode ser encontrado na NBR 6459/2016.

Figura 5 – Ensaio de Limite de Liquidez do solo argiloso.



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.1.2.2 Limite de Plasticidade (LP)

Assim como especificado pela NBR 7180/2016, foram colocadas 100g, em um recipiente e adicionado água destilada, homogeneizando-a até que se obtivesse consistência plástica. Em seguida, iniciou-se as moldagens dos cilindros de acordo com as dimensões previstas no ensaio. Foram moldados 5 cilindros, com pequenos incrementos de água de uma moldagem para outra. De cada cilindro foi retirada uma pequena fração (FIGURA 6), e todas foram levadas à estufa por 16h a uma temperatura de 105°C para calcular seus respectivos teores de umidade, que foram utilizadas em seguida para obter o LP do solo argiloso.

Figura 6 – Frações retiradas da amostra do solo argiloso.



Fonte: Aatoria própria (2019).

## **4.2 Ensaio para caracterização química das amostras**

### ***4.2.1 Fluorescência de Raios X (FRX)***

A fluorescência foi realizada com as amostras de solo argiloso e com o pó de traquito preparadas, em um Fluorômetro Rigaku ZSX mini, com corrente de 40kV e tensão de 1,2mA, em porta amostras envoltas por um filme transparente composto por nanopartículas de carbono, com o intuito de identificar os principais óxidos formados e nortear a análise dos picos na difração.

## **4.3 Ensaio para caracterização mineralógica das amostras**

### ***4.3.1 Difração de Raios X (DRX)***

A grande concentração de quartzo em amostras de solo contendo argila pode mascarar os resultados encontrados em sua difração. Assim, para o solo argiloso, foram ensaiadas 3 amostras: uma do solo argiloso preparado, uma de solo argiloso sedimentado e outra de solo argiloso sedimentado e após tratamento com etileno-glicol, substância que permite ressaltar a presença de argilominerais expansivos.

A amostra de solo argiloso a ser sedimentada foi submersa em água destilada e homogeneizada em um homogeneizador eletrônico da marca ViaTest por 15min (FIGURA 7a). Em seguida, a mistura foi transferida para uma proveta, completando com mais água destilada até o menisco atingir a marca de 1000mL (FIGURA 7b). Esse conteúdo foi agitado, depois deixado em repouso por 15min e dele foram coletadas frações à uma altura de 15cm do fundo da proveta, com auxílio de uma pipeta até que se obtivesse uma amostra suficiente para secar e realizar o ensaio de DRX. A secagem foi feita em estufa com temperatura máxima de 60°C até que toda a água evaporasse. Essa temperatura foi controlada de forma que não alterasse nenhuma propriedade da amostra a ser ensaiada. Não foi necessário utilizar acetona para desagregar os grãos após a secagem. Esse procedimento baseou-se no procedimento de sedimentação que compõe o ensaio de análise granulométrica de solos estabelecida pela NBR 7181/2016. As adaptações foram necessárias, tendo em vista o intuito de retirar parcialmente e não totalmente o quartzo presente na amostra de solo ensaiada.

Não foi necessário realizar nenhum procedimento prévio com o traquito, pois o mesmo já se encontrava em condições para realizar o ensaio.

Figura 7 – Ensaio de sedimentação para retirada de quartzo.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2019).

Os ensaios de DRX foram realizados em um difratômetro modelo X-Pert PRO MPD–Panalytical, com tubo de Co, com intervalos de  $2\theta$  variando entre  $10^\circ$  e  $100^\circ$ , passo de  $0,013^\circ$  e radiação com comprimento de onda ( $\lambda$ ) de  $1,788901\text{\AA}$ . Para auxílio da identificação das fases cristalinas foi utilizando o software X-Pert High Score Plus (Panalytical).

#### **4.4 Ensaios tecnológicos para caracterização dos corpos de prova**

##### ***4.4.1 Retração***

A retração linear foi utilizada para saber se houve ou não deformação das peças entre as etapas, bem como sua significância. Assim, foram coletadas as medidas (diâmetro e altura) finais após o desmolde, após a secagem e após o resfriamento dos corpos de prova com auxílio de um paquímetro, a fim de compará-las. Foram analisados, também, o desvio em relação ao esquadro e a planeza das faces.

A NBR 15270-1/2017 estabelece para blocos de vedação e para tijolos classe VED15, uma tolerância de 5mm quanto as dimensões de suas faces e de 3mm para o desvio em relação ao esquadro e a planeza.

##### ***4.4.2 Índice de absorção de água***

O ensaio foi realizado segundo o procedimento do Anexo B da NBR 15270-2/2017. Os corpos de prova foram pesados após a queima para identificar suas massas secas e em seguida foram colocados em um recipiente contendo água em temperatura ambiente com volume suficiente para mantê-los totalmente imersos durante 24h. Passado este período, foram retirados da água, enxugados superficialmente com auxílio de um pano úmido para tirar o excesso de água e pesados novamente a fim de obter suas massas saturadas e assim, relacioná-las com suas respectivas massas secas.

A NBR 15270-1/2017 estabelece para blocos de vedação classe VED15, um percentual de absorção de água entre 8% e 25%.

##### ***4.4.3 Resistência a compressão axial***

O ensaio foi realizado segundo o procedimento do Anexo C da NBR 15270-2/2017. Foi utilizada uma máquina universal da Emic de 300KN, com base adaptada por

discos de aço para receber os corpos de prova confeccionados. A carga foi aplicada progressivamente à uma razão de  $0,05 \pm 0,01$  MPa/s até que começasse a decrescer, indicando que houve a ruptura dos corpos de prova.

A NBR 15270-1/2017 estabelece para blocos de vedação classe VED15, uma resistência à compressão mínima de 1,5MPa.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização física das amostras

Ao peneirar o traquito constatou-se que a granulometria nominal máxima que o mesmo obteve ao ser moído com um moinho de anéis, com um ciclo de 5min, foi de 0,30mm.

A seguir serão expostos os resultados correspondentes a caracterização do solo argiloso utilizado na confecção dos corpos de prova.

#### 5.1.1 Teor de umidade do solo argiloso ensaiado – $w$

O teor de umidade de um material deve ser calculado pela equação (1) abaixo, relacionando seus pesos úmido e seco, como o indicado na NBR 6457/2016. Os resultados foram obtidos fazendo-se a média entre os teores das 3 amostras. Assim, o solo argiloso ensaiado apresentou um teor de umidade igual a 4,14 (TABELA 1). Para a produção dos corpos de prova esse valor foi relacionado com o percentual de água utilizada na massa.

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$M_1$  = massa do solo úmido + tara do recipiente;

$M_2$  = massa do solo seco + tara do recipiente;

$M_3$  = tara do recipiente.

Tabela 1 – Resultado obtido para o teor de umidade do solo argiloso ensaiado.

<b>M<sub>3</sub> (g)</b>	<b>M<sub>1</sub> (g)</b>	<b>M<sub>2</sub> (g)</b>	<b>w (%)</b>
6,44	14,48	14,26	2,81
6,25	14,26	13,76	6,66
7,98	15,98	15,75	2,96
<b>média</b>			<b>4,14</b>

Fonte: elaborada pela autora (2019).

## 5.1.2 Plasticidade do solo argiloso ensaiado

### 5.1.2.1 Limite de Liquidez – LL

O Limite de Liquidez é encontrado a partir de um gráfico em escala logarítmica, onde o eixo das abcissas (x) represente os números de golpes e o eixo das coordenadas (y) represente as umidades encontradas para as 5 repetições do ensaio no aparelho de Casa Grande, de modo que se encontre a umidade correspondente a 25 golpes (NBR 6459/2016).

Assim, foi montado um gráfico com os dados obtidos no ensaio e gerada uma linha de tendência para que fosse encontrada sua equação correspondente, onde “y” representa o teor de umidade e “x” representa o número de golpes que se deseja analisar. Nestes casos, x = 25 golpes. Os resultados estão indicados na tabela 2.

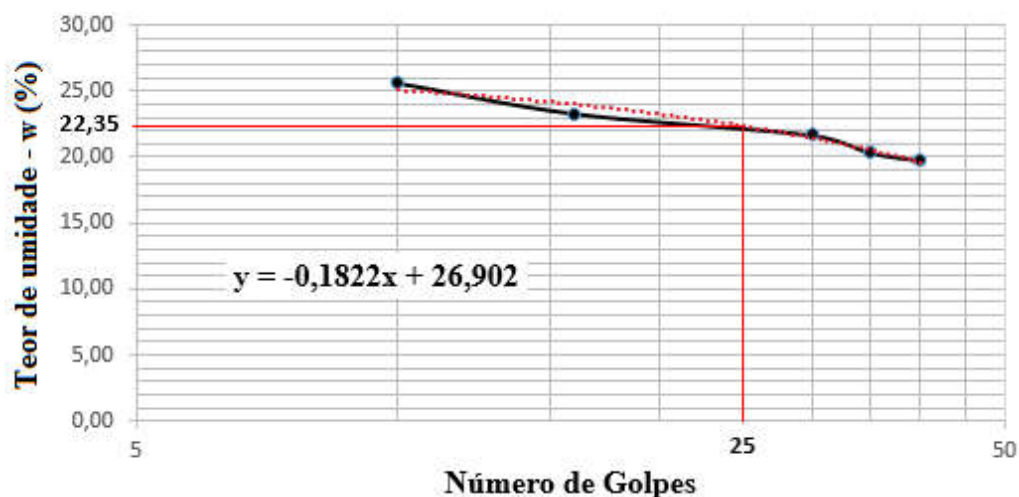
Tabela 2 – Resultado encontrado para o Limite de Liquidez do solo argiloso ensaiado.

M3 (g)	M1 (g)	GOLPES	M2 (g)	w (%)
6,4	9,37	40	8,88	19,76
5,06	6,48	35	6,24	20,34
5,63	7,09	30	6,83	21,67
6,09	8,79	16	8,28	23,29
6,41	8,52	10	8,09	25,60
-	-	<b>25</b>	-	<b>22,35</b>

Fonte: elaborada pela autora (2019).

O valor obtido para o LL do solo argiloso ensaiado foi de 22,35% (FIGURA 8). Para o cálculo do teor de umidade foi utilizada a equação (1).

Figura 8 – Gráfico para cálculo do valor do Limite de Liquidez do solo argiloso ensaiado.



Fonte: elaborada pela autora (2019).

#### 5.1.2.2 Limite de Plasticidade – LP

O Limite de Plasticidade é obtido a partir da média entre as umidades das frações retiradas dos 5 ou mais cilindros moldados de um material, descartando-se, sempre, aquelas que apresentem variação de 5% abaixo ou acima das médias, até que restem, pelo menos, 3 medidas (NBR 7180/2016).

Os resultados encontrados para a amostra encontram-se na tabela 3 abaixo, obtendo-se, ao final dos testes, um LP = 18,8%. Para os cálculos dos teores de umidade de cada fração, também foi utilizada a equação (1).

Tabela 3 – Resultado encontrado para o Limite de Plasticidade do solo argiloso.

M <sub>3</sub> (g)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	Teste 1		Teste 2	
			w (%)	desvio da média	w (%)	desvio da média
6,78	8,78	8,47	18,34	0,72	18,34	0,45
5,55	7,48	7,18	18,40	0,66	18,40	0,39
5,78	8,5	8,07	18,78	0,29	18,78	0,02
5,92	8,72	8,26	19,66	0,59	19,66	0,86
5,97	7,64	7,36	20,14	1,08	-	-
<b>média</b>			19,07	-	<b>18,80</b>	-
<b>5% da média</b>			0,95	-	0,94	-

Fonte: elaborada pela autora (2019).

### 5.1.2.3 Índice de plasticidade – IP

Tendo posse dos valores dos Limites de Liquidez e de Plasticidade, pode-se obter o Índice de Plasticidade de um material através da equação (2), como indicado, também, na NBR 7180/2016.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Onde,

LL = Limite de Liquidez;

LP = Limite de Plasticidade.

O valor obtido está disposto na tabela 4. Sabendo que acima de 15% o solo é considerado altamente plástico e que entre 15% e 7% mediamente plástico, como o solo argiloso teve o Índice de Plasticidade entre 1% e 7%, foi considerado de baixa plasticidade.

A baixa plasticidade do solo argiloso utilizado pode se dar por um possível percentual elevado de quartzo, que pode ser observado na Fluorescência de Raios-X.

Esse índice refletiu na trabalhabilidade da massa preparada para produção dos corpos de prova, bem como nas características tecnológicas dos mesmos após a queima.

Tabela 4 – Classificação da amostra de acordo com sua plasticidade.

LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASSIFICAÇÃO
22,35	18,80	3,55	Baixa plasticidade

Fonte: elaborada pela autora (2019).

## 5.2 Caracterização química das amostras

### 5.2.1 Fluorescência de raios X

A tabela 5 mostra todos os óxidos identificados em cada uma das amostras analisadas através da fluorescência. Dos dados podemos perceber que os principais óxidos presentes tanto na amostra de solo argiloso como do pó de traquito são SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO, mudando apenas seus percentuais, e ainda na amostra de traquito, Na<sub>2</sub>O. Os

óxidos cujos percentuais apareceram abaixo de 0,5% foram considerados como impurezas e descartados para fim de caracterização.

É importante atentar-se aos percentuais de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e de  $\text{CaO}$  encontrados nas amostras, principalmente no solo argiloso, haja visto que quanto maior o percentual dos mesmos, maior será a influência sobre as propriedades refratárias e sobre a cor das peças após a queima. Especificamente quanto ao resíduo do traquito, o percentual de  $\text{K}_2\text{O}$  e de  $\text{Na}_2\text{O}$  é o que definem a alcalinidade. Já quanto o solo argiloso, o percentual de  $\text{K}_2\text{O}$  pode estar relacionado aos minerais de illita.

Esses resultados foram utilizados para auxiliar a identificação das fases no ensaio de DRX.

Tabela 5 – Fluorescência das amostras.

AMOSTRA	PERCENTUAL EM ÓXIDOS
<b>Solo argiloso</b>	$\text{SiO}_2$ (54,74%); $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (17,91%); $\text{Al}_2\text{O}_3$ (9,27%); $\text{K}_2\text{O}$ (8,77%); $\text{CaO}$ (6,25%); $\text{TiO}_2$ (2,38%); $\text{P}_2\text{O}_5$ (0,35%); $\text{SrO}$ (0,29%); $\text{Cl}$ (0,04%)
<b>Traquito</b>	$\text{SiO}_2$ (66,26%); $\text{K}_2\text{O}$ (13,04%); $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (12,35%); $\text{Al}_2\text{O}_3$ (7,33%); $\text{CaO}$ (1,77%); $\text{Na}_2\text{O}$ (0,62%); $\text{MnO}$ (0,44%); $\text{ZrO}_2$ (0,37%); $\text{Rb}_2\text{O}$ (0,23%); $\text{ZnO}$ (0,21%); $\text{Nb}_2\text{O}_5$ (0,19%); $\text{Cl}$ (0,1%); $\text{Y}_2\text{O}_3$ (0,08%)

Fonte: elaborada pela autora (2019).

### 5.3 Caracterização mineralógica das amostras

#### 5.3.1 Difração de Raios-X: identificação das fases

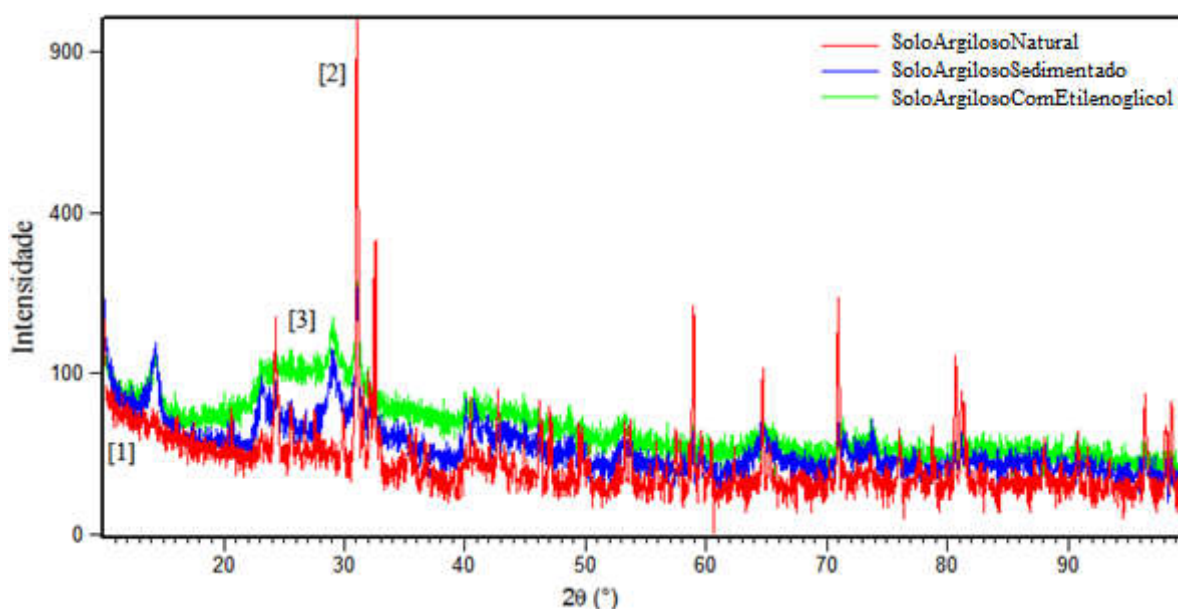
##### 5.3.1.1 Amostra do solo argiloso

Inicialmente foram comparadas as difrações obtidas a partir da amostra de solo argiloso natural, da fração sedimentada e da fração sedimentada tratada com etileno-glicol. A partir dessa comparação, pode-se observar que o comportamento do primeiro pico, em  $2\theta$  aproximadamente  $10^\circ$  é típico de difratogramas de amostras que contém argila e que neste caso pode ser desconsiderada a presença de matéria orgânica, visto que a presença de matéria orgânica não formariam picos (FIGURA 9 – [1]). Outro detalhe observado foi a alta intensidade do pico em  $2\theta$  aproximadamente  $30^\circ$ , típico do mineral quartzo (FIGURA 9 – [2]) e, ainda, que em solos argilosos com baixa plasticidade, como neste caso, observa-se a

presença de picos de quartzo mais intensos que em amostras de solos argilosos com maiores plasticidades, assim como dificilmente conteriam os argilominerais montmorilonitas ou esmectititas (SANTOS, 1989). Os picos de maior intensidade dos argilominerais ilita, caulinita e montmorilonita costumam ser observados em  $2\theta$  abaixo de  $30^\circ$ . Apesar de suas características em comum, por meio da comparação das difrações da amostra tratada com etileno-glicol com a amostra natural, percebeu-se um aumento quanto à intensidade dos picos presentes entre  $2\theta$  aproximadamente  $15^\circ$  e  $30^\circ$ , apontando como a característica que definiu a presença de fases de ilita e caulinita (FIGURA 9 – [3]), já que a presença de montmorilonita causaria o deslocamento dos picos nessa faixa ao invés de aumentar a intensidade.

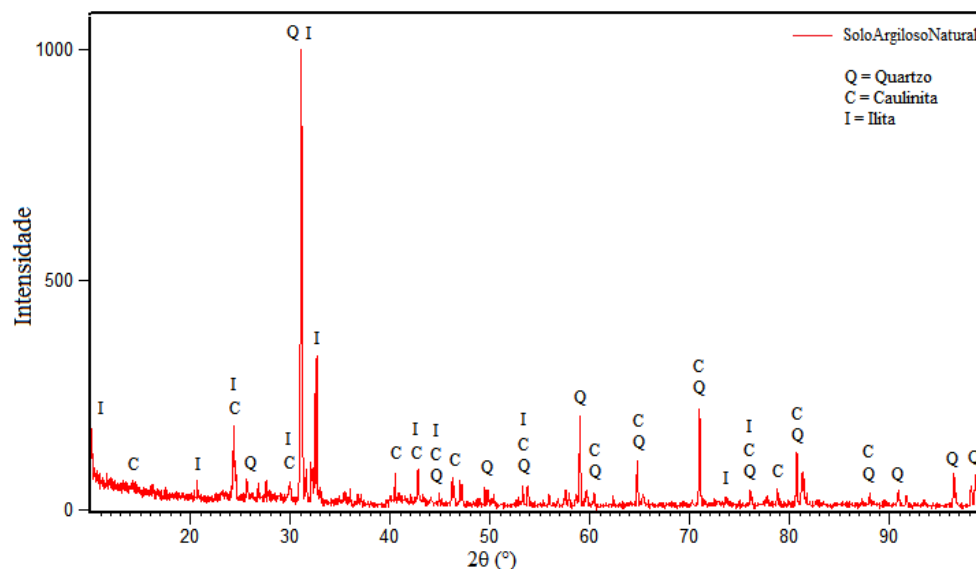
As fases identificadas foram confirmadas com auxílio do software X-Pert High Score Plus e se encontram distribuídas como indicado na figura 10.

Figura 9 – Sobreposição dos difratogramas das amostras do solo argiloso natural, com sedimentação do quartzo e após tratamento com etileno-glicol.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 10 – Indexação das fases no difratograma da amostra de solo argiloso.

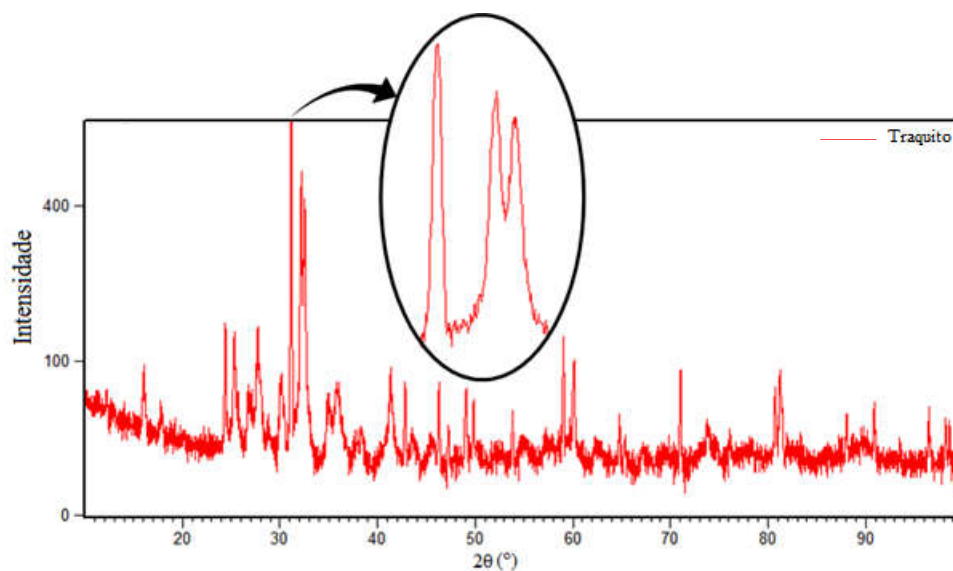


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

### 5.3.1.2 Amostra de traquito

Observou-se no difratograma do resíduo de traquito a presença de um pico de alta intensidade em  $2\theta$  aproximadamente  $30^\circ$ , típico da presença de quartzo. Percebeu-se ainda a presença de picos duplos, logo em seguida ao pico que caracterizaria o quartzo, típico da possível presença de feldspato (FIGURA 11), mineral este que justamente buscamos identificar no pó do resíduo.

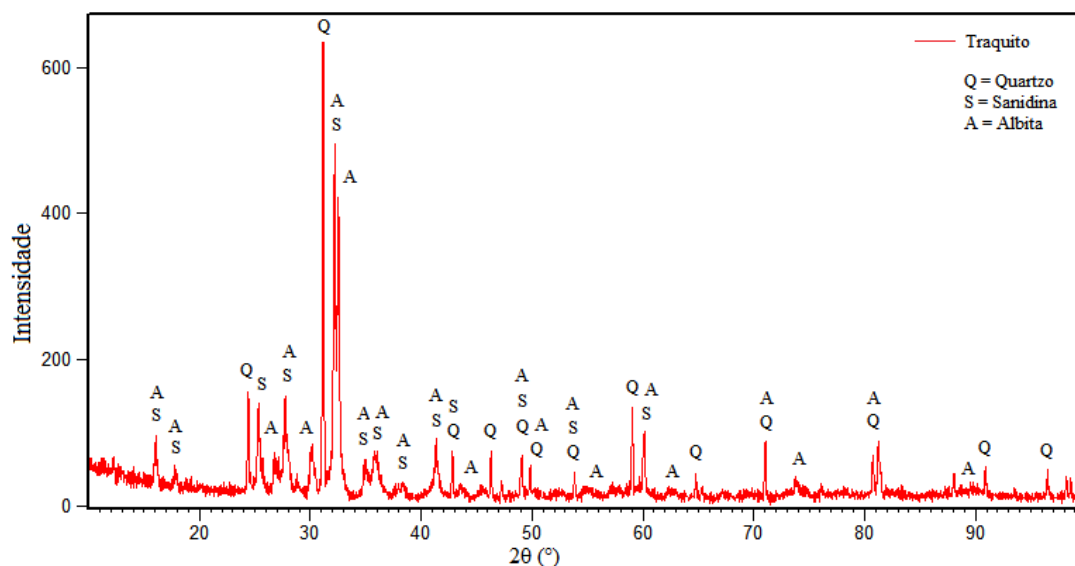
Figura 11 – Comportamento característico do quartzo e do feldspato em difratogramas.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Feita a busca pela identificação das fases no HighScore, obteve-se um score elevado para a primeira fase como sendo quartzo, assim como previsto na análise prévia. Não atendendo todos os picos, uma segunda fase foi definida como sendo feldspato alcalino na forma de sanidina e ainda uma terceira definida como plagioclásio na forma de albita (FIGURA 12). Estes minerais de feldspatos encontrados complementam o resultado obtido pela fluorescência, confirmando a presença de minerais alcalinos, porém e baixo percentual.

Figura 12 – Indexação das fases no difratograma da amostra do resíduo de traquito.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

## 5.4 Caracterização tecnológica dos corpos de prova

### 5.4.1 Retração

Através da análise dos corpos de prova após a secagem e após a queima, observou-se que não houve retração linear dos mesmos, ou seja, não foram notadas diferenças entre os diâmetros e as alturas dos corpos de prova confeccionados ao fim dessas duas etapas, independente do percentual de incorporação ou das temperaturas empregadas na etapa de queima, assim como também não houve o desvio em relação ao esquadro e ambas as faces de cada corpo de prova mostraram planeza.

A não retração dos corpos de prova pode ser justificada, mais uma vez, pela baixa plasticidade do solo argiloso utilizado. Como citado no referencial teórico, o alto percentual

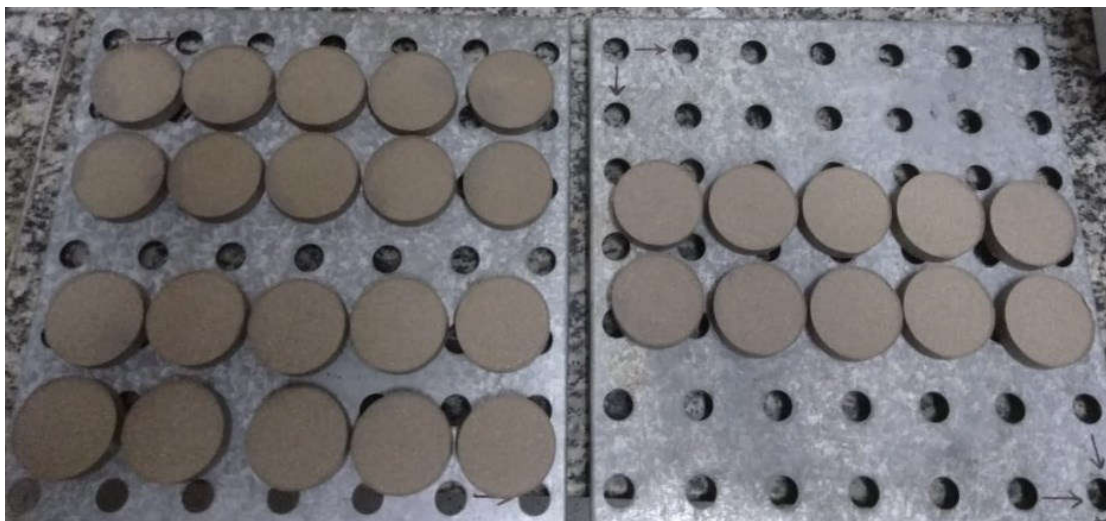


de  $\text{SiO}_2$  (estimado em torno de 60%), ajudou a controlar o excesso de plasticidade da massa favorecendo a redução da retração.

A ocorrência de retração e de desvio em relação ao esquadro além de dar um mal aspecto as peças acabadas, colabora para que a peça não consiga desempenhar perfeitamente a função para a qual a mesma foi produzida.

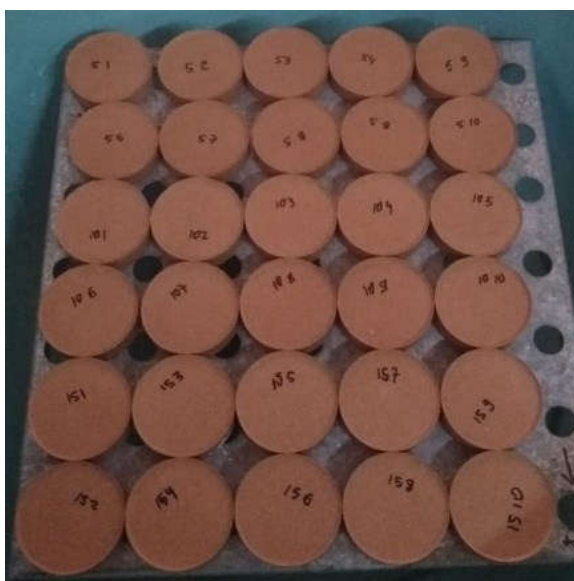
As figuras 13 e 14 retratam as características visuais dos corpos de prova confeccionados, após a secagem e após a queima, respectivamente.

Figura 13 – Demonstração das peças após a etapa de secagem.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 14 – Demonstração das peças após a etapa de queima. A imagem mostra uma placa metálica com uma grade de furos. Cada placa contém 25 corpos de prova cilíndricos, dispostos em 5 linhas e 5 colunas. As peças são de cor marrom escura e parecem estar em um estágio avançado de queima. Cada peça tem um número escrito em sua superfície superior, variando de 101 a 1510.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

### 5.4.2 Índice de absorção de água – AA

Para definir o índice de absorção de água foram ensaiados 5 corpos de prova a cada 10 produzidos para configuração, e assim, retirada a média dos seus índices de absorção de água individuais. O cálculo foi realizado através da equação (3) encontrada na NBR 15270-2/2017.

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde,

$M_u$  = massa do corpo de prova seco;

$M_s$  = massa do corpo de prova úmido.

Na tabela 6 encontram-se os percentuais individuais obtidos para cada um dos 5 corpos de prova, bem como a média desses, considerada, então, como o índice de absorção de água médio para os CPSI, que será utilizado como índice de absorção de água de referência.

O controle quanto a absorção de água é importante tendo em vista que, em termos construtivos, pode facilitar o surgimento de patologias nas edificações.

Tabela 6 – Índice de absorção de água para os corpos de prova sem incorporação, queimados a 900°C.

		CP				
		1	2	3	4	5
CPSI	Peso após queima (g)	19,00	18,82	18,65	18,88	18,73
	Peso após absorção (g)	21,82	21,52	21,38	21,56	21,51
	AA individual (%)	14,84	14,35	14,64	14,19	14,84
	média	14,57				

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

As tabelas de 7 a 11 mostram o índice de absorção de água médio para os demais corpos de prova, queimados a 880°C, 870°C, 860°C, 850°C e 830°C, respectivamente.

Tabela 7 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 880°C.

		CP				
		1	2	3	4	5
CPCI-5	Peso após queima (g)	21,18	20,23	21,11	20,04	20,07
	Peso após absorção (g)	23,43	23,14	22,91	22,77	23,15
	AA individual (%)	10,62	14,38	8,53	13,62	15,35
	média	<b>12,50</b>				
CPCI-10	Peso após queima (g)	21,17	21,11	21,03	21,06	21,33
	Peso após absorção (g)	24,05	23,98	24,23	23,84	24,18
	AA individual (%)	13,60	13,60	15,22	13,20	13,36
	média	<b>13,80</b>				
CPCI-15	Peso após queima (g)	21,86	21,79	21,73	21,79	21,89
	Peso após absorção (g)	25,00	24,94	24,83	24,95	25,05
	AA individual (%)	14,36	14,46	14,27	14,50	14,44
	média	<b>14,40</b>				

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 8 – Índice de absorção de água para os corpos de prova queimados a 870°C.

		CP				
		1	2	3	4	5
CPCI-5	Peso após queima (g)	19,67	19,83	19,80	19,67	19,81
	Peso após absorção	22,30	22,45	22,38	22,29	22,62
	AA individual (%)	13,37	13,21	13,03	13,32	14,18
	média	<b>13,42</b>				
CPCI-10	Peso após queima (g)	20,88	20,76	20,84	20,87	20,87
	Peso após absorção	23,54	23,42	23,54	23,55	23,55
	AA individual (%)	12,74	12,81	12,96	12,84	12,84
	média	12,84				
CPCI-15	Peso após queima (g)	21,76	21,53	21,64	21,80	21,97
	Peso após absorção	24,13	24,82	24,43	24,80	24,57
	AA individual (%)	10,89	15,28	12,89	13,76	11,83
	média	<b>12,93</b>				

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 9 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 860°C.

		CP				
		1	2	3	4	5
CPCI-5	Peso após queima (g)	20,20	20,11	20,23	20,23	20,05
	Peso após absorção	22,89	23,10	23,22	23,12	23,06
	AA individual (%)	13,32	14,87	14,78	14,29	15,01
	média	14,45				
CPCI-10	Peso após queima (g)	21,15	21,42	21,21	21,15	21,19
	Peso após absorção	23,94	23,91	21,10	24,23	23,93
	AA individual (%)	13,19	11,62	13,63	14,56	12,93
	média	13,19				
CPCI-15	Peso após queima (g)	22,08	22,06	22,19	22,24	22,22
	Peso após absorção	25,07	25,31	25,09	24,84	25,14
	AA individual (%)	13,54	14,73	13,07	11,69	13,14
	média	13,24				

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 10 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 850°C.

		CP				
		1	2	3	4	5
CPCI-5	Peso após queima (g)	20,07	19,88	20,02	19,91	19,93
	Peso após absorção	22,96	22,62	22,84	22,70	22,77
	AA individual (%)	14,40	13,78	14,09	14,01	14,25
	média	14,11				
CPCI-10	Peso após queima (g)	20,97	21,13	21,06	20,98	21,01
	Peso após absorção	23,67	23,90	23,80	23,71	23,77
	AA individual (%)	12,88	13,11	13,01	13,01	13,14
	média	13,03				
CPCI-15	Peso após queima (g)	21,90	22,09	22,07	22,04	22,02
	Peso após absorção	24,93	25,23	25,19	25,08	24,98
	AA individual (%)	13,84	14,21	14,14	13,79	13,44
	média	13,88				

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

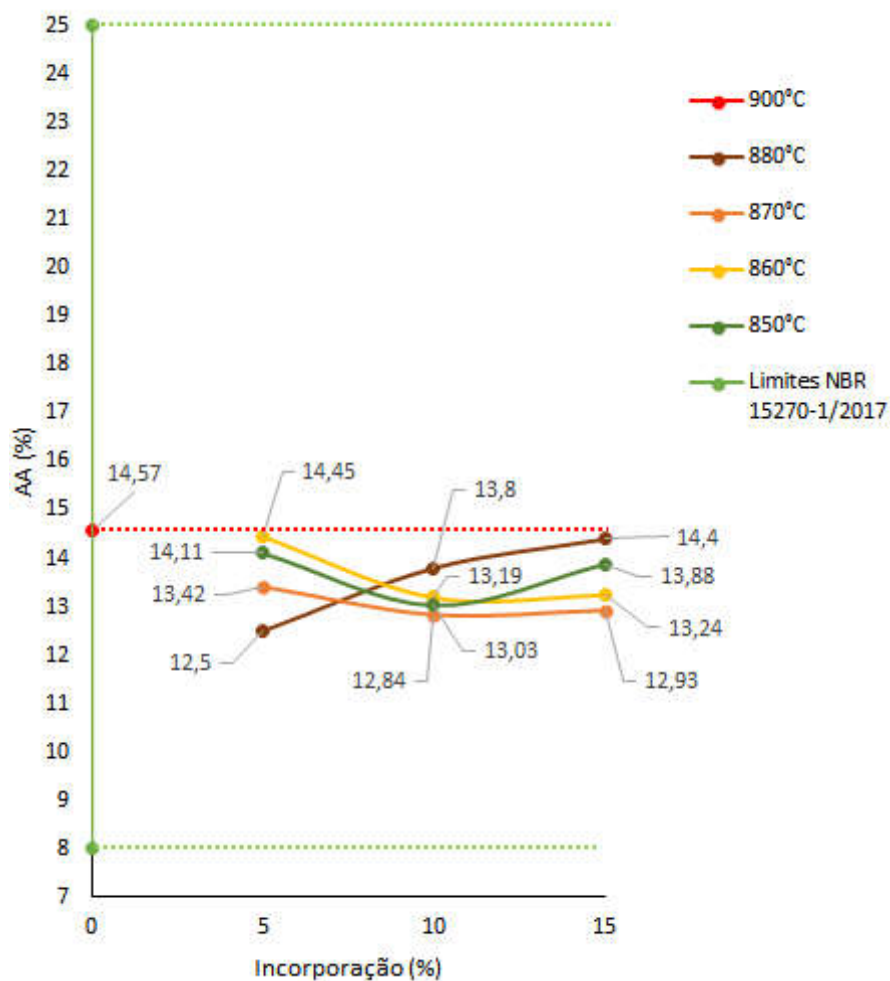
Tabela 11 – Índice de absorção de água para os corpos de prova com as incorporações, queimados a 830°C.

		CP				
		1	2	3	4	5
CPCI-5	Peso após queima (g)	20,13	20,11	20,10	20,14	19,95
	Peso após absorção	22,93	22,79	22,91	22,86	22,67
	AA individual (%)	13,91	13,33	13,98	13,51	13,63
	média	<b>13,67</b>				
CPCI-10	Peso após queima (g)	21,17	21,01	21,21	21,16	21,04
	Peso após absorção	24,00	23,73	24,00	23,87	23,73
	AA individual (%)	13,37	12,95	13,15	12,81	12,79
	média	<b>13,01</b>				
CPCI-15	Peso após queima (g)	21,95	21,97	21,98	22,40	21,90
	Peso após absorção	24,71	24,76	24,84	25,31	24,72
	AA individual (%)	12,57	12,70	13,01	12,99	12,88
	média	<b>12,83</b>				

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

A comparação entre os resultados pode ser observada a partir da representação gráfica da figura 15. As linhas verdes tracejadas representam os limites mínimo e máximo, respectivamente, imposto pela NBR 15270-1/2017 para blocos cerâmicos de vedação. Já a linha tracejada vermelha representa o AA apresentado pelos CPSI, considerando este valor como limite de referência na análise dos resultados. Apesar de os CPCI queimados a 830°C terem apresentado, também, bons resultados quanto à absorção de água (TABELA 11), os mesmos foram desconsiderados para fins de comparação com as demais temperaturas, tendo em vista que, mais à frente será mostrado que eles não atenderam às condições de resistência esperadas.

Figura 15 – Influência dos percentuais de incorporação no índice de absorção de água (AA) por temperatura de queima.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

### 5.4.3 Resistência à compressão axial

A resistência mecânica à compressão axial de um material é dada a partir da média resultante das razões entre a carga máxima suportada por cada corpo de prova individualmente e sua respectiva área bruta da seção transversal à aplicação da carga. Essa resistência obtida, deve ser apresentada em MPa. Foram calculadas, também, a mediana e o desvio padrão sobre os resultados encontrados para cada grupo de corpos de prova, de acordo com a temperatura empregada na queima. O controle da resistência garante que as peças possam desempenhar, com segurança, sua função.

A tabela 12 mostra a resistência (representada pela média) encontrada para os CPSI que foram queimados à 900°C. Essa resistência será utilizada como referência quanto aos demais corpos de prova.

Tabela 12 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 900°C.

CP	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	CPSI	CPCI-5	CPCI-10	CPCI-15
1	2,12	-	-	-
2	1,41	-	-	-
3	1,57	-	-	-
4	2,18	-	-	-
5	1,81	-	-	-
6	1,96	-	-	-
7	1,82	-	-	-
8	1,47	-	-	-
9	2,10	-	-	-
10	1,76	-	-	-
<b>média</b>	<b>1,82</b>	-	-	-
<b>mediana</b>	<b>1,82</b>	-	-	-
<b>desvio padrão</b>	<b>0,27</b>	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Nas tabelas 13 a 16 encontram-se as resistências e a média representativa de cada percentual ensaiado, de acordo com as temperaturas consideradas satisfatórias para comparação de resultados.

Tabela 13 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 880°C.

CP	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	CPSI	CPCI-5	CPCI-10	CPCI-15
1	-	1,31	1,62	1,52
2	-	1,37	1,39	1,62
3	-	1,39	1,54	1,76
4	-	1,56	1,40	1,57
5	-	1,44	1,35	1,52
6	-	1,57	1,31	1,50
7	-	1,55	1,42	1,47
8	-	1,57	1,45	1,47
9	-	1,46	1,42	1,52
10	-	1,48	1,50	1,65
<b>média</b>	-	<b>1,48</b>	<b>1,44</b>	<b>1,56</b>
<b>mediana</b>	-	<b>1,51</b>	<b>1,42</b>	<b>1,52</b>
<b>desvio padrão</b>	-	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 14 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 870°C.

CP	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	CPSI	CPCI-5	CPCI-10	CPCI-15
1	-	1,57	2,12	1,96
2	-	1,99	2,00	1,45
3	-	2,06	1,75	1,57
4	-	2,08	1,76	1,79
5	-	2,03	1,94	1,49
6	-	1,96	1,75	1,52
7	-	1,67	1,55	1,64
8	-	1,97	1,70	1,70
9	-	2,00	1,91	1,57
10	-	1,97	1,82	1,51
<b>média</b>	-	<b>1,93</b>	<b>1,83</b>	<b>1,62</b>
<b>mediana</b>	-	<b>1,98</b>	<b>1,79</b>	<b>1,57</b>
<b>desvio padrão</b>	-	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 15 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 860°C.

CP	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	CPSI	CPCI-5	CPCI-10	CPCI-15
1	-	1,47	1,76	1,64
2	-	1,52	1,50	1,42
3	-	1,23	1,57	1,39
4	-	1,40	1,52	1,73
5	-	1,45	1,28	1,76
6	-	1,66	1,68	1,45
7	-	1,54	1,33	1,93
8	-	1,55	1,67	1,74
9	-	1,66	1,39	1,97
10	-	1,52	1,50	1,37
<b>média</b>	-	<b>1,50</b>	<b>1,52</b>	<b>1,64</b>
<b>mediana</b>	-	<b>1,52</b>	<b>1,52</b>	<b>1,69</b>
<b>desvio padrão</b>	-	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,22</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2019).



Tabela 16 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados a 850°C.

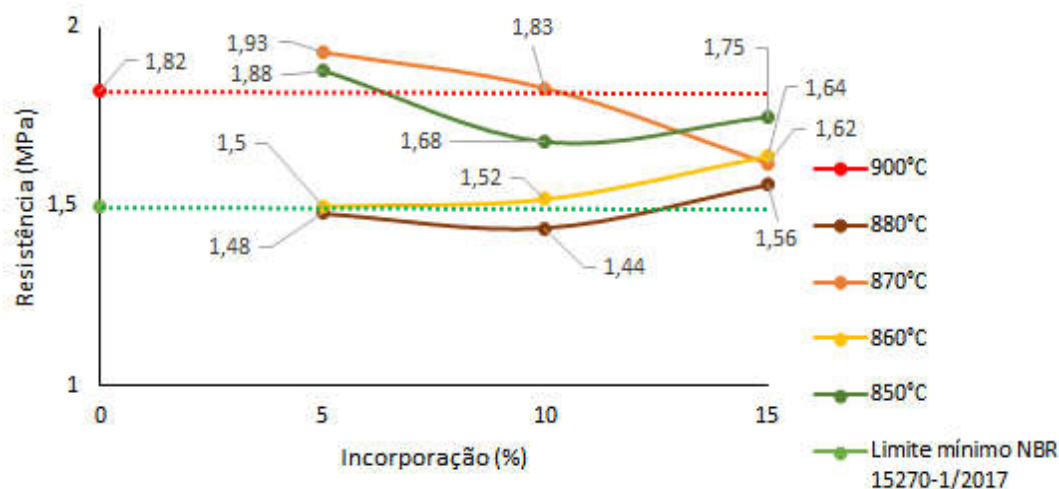
CP	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	CPSI	CPCI-5	CPCI-10	CPCI-15
1	-	1,97	1,68	1,79
2	-	1,93	1,80	1,53
3	-	1,95	1,52	1,75
4	-	1,73	1,76	1,77
5	-	2,02	1,49	1,74
6	-	1,85	1,46	1,56
7	-	1,84	1,73	1,65
8	-	1,81	1,64	2,02
9	-	1,76	1,91	1,76
10	-	1,94	1,81	1,93
<b>média</b>	-	<b>1,88</b>	<b>1,68</b>	<b>1,75</b>
<b>mediana</b>	-	<b>1,89</b>	<b>1,71</b>	<b>1,76</b>
<b>desvio padrão</b>	-	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

As comparações entre os resultados podem ser observadas a partir das representações gráficas nas figuras 16 e 17 abaixo.

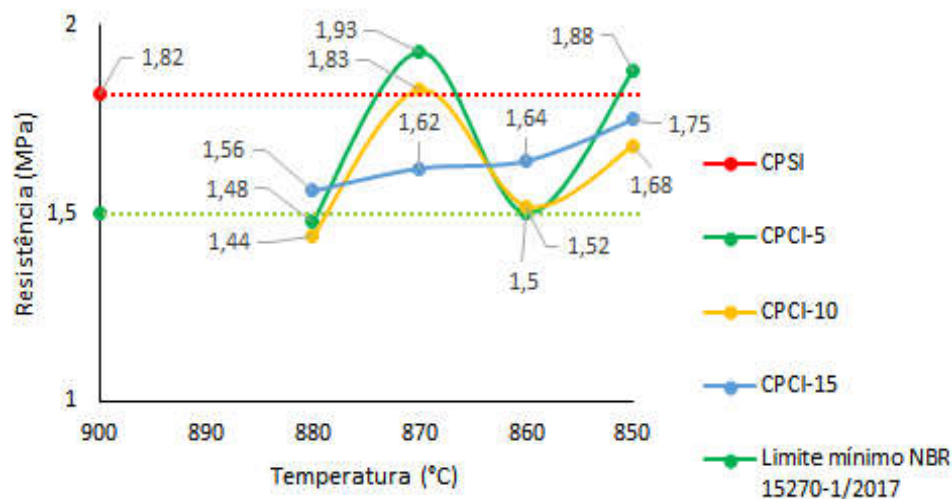
A linha tracejada verde representa o limite mínimo de resistência imposta pela NBR 15270-1/2017 para blocos cerâmicos de vedação. Já a linha tracejada vermelha representa a resistência média apresentada pelos CPSI, imposta como referência na análise dos demais corpos de prova.

Figura 16 – Relação entre os percentuais de incorporação e as resistências por temperatura.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 17 – Relação entre as resistências e as temperaturas de queima por percentual de incorporação.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os CPCI-15 foram os únicos que apresentaram um comportamento mais linear quanto à variação da temperatura de queima, porém não apresentaram resistências satisfatórias ao serem comparados ao valor de referência. Os demais sofreram oscilações entre as 4 temperaturas consideradas.

A 830°C (TABELA 17) todos os corpos de prova obtiveram resistências à compressão bastante elevadas, diferente dos resultados esperados para os materiais cerâmicos em estudo, e por outro lado apresentaram fragilidade durante manuseio, se rompendo facilmente, acreditando, assim, que não tenha sido formada a fase vítrea, se tratando apenas de corpos de prova de solo que ganharam resistência devido à compactação na moldagem (assim como um talude de terra, por exemplo), o que justificaria o fato de esses resultados não terem sido usados para comparação com os demais. Para entender o porquê do comportamento observado e comprovar a teoria descrita acima, foi necessário realizar o ensaio de DSC/TG com as 4 misturas de corpos de prova, bem como com a amostra de solo sozinha.

Tabela 17 – Resistências à compressão axial para os corpos de prova queimados à 830°C.

CP	RESISTÊNCIAS (MPa)			
	CPSI	CPCI-5	CPCI-10	CPCI-15
1	-	8,58	8,30	13,80
2	-	13,55	8,02	6,43
3	-	8,41	8,11	8,31
4	-	8,70	8,48	7,51
5	-	7,92	7,62	8,06
6	-	9,79	9,43	8,09
7	-	10,65	8,00	6,47
8	-	9,26	8,41	6,85
9	-	8,07	9,02	6,67
10	-	12,87	7,51	8,41
<b>média</b>	-	<b>9,78</b>	<b>8,29</b>	<b>8,06</b>
<b>mediana</b>	-	<b>8,98</b>	<b>8,21</b>	<b>7,79</b>
<b>desvio padrão</b>	-	<b>1,99</b>	<b>0,59</b>	<b>2,16</b>

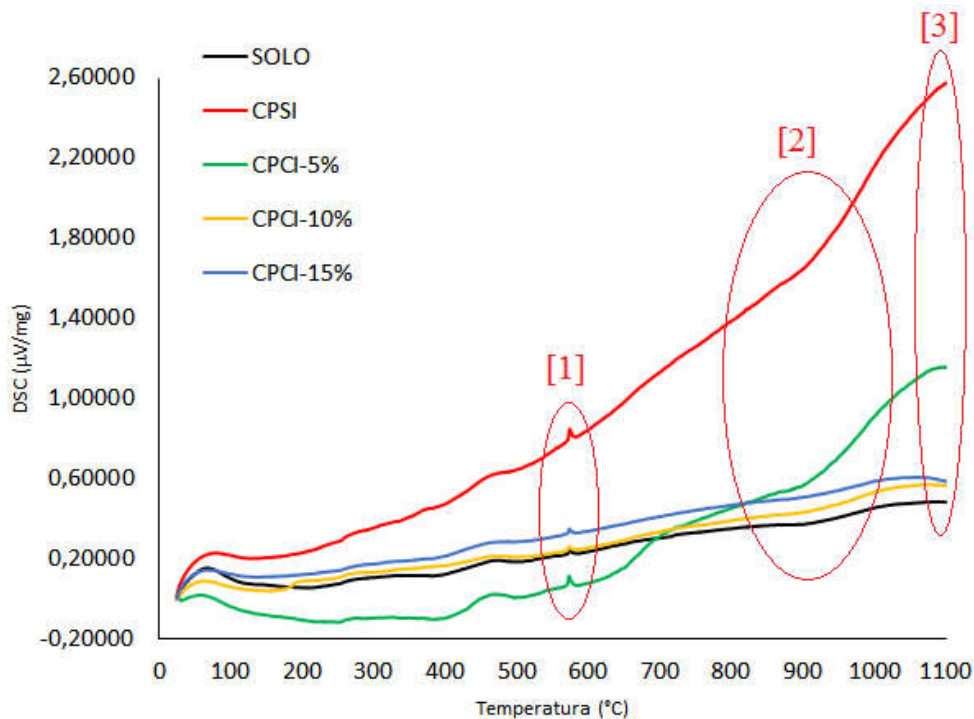
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 5.4.4 Ensaio de DSC/TG

Para a realização dos ensaios de DSC foi utilizado o equipamento NETZSCH STA 449F3, modelo STA449F3A-1067-M com temperatura variando de 25°C a 900°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, com atmosfera de Ni.

Foram confeccionados 4 novos corpos de prova, cujo preparação das massas (CPSI, CPCI-5, CPCI-10 e CPCI-15), moldagens e a secagem ocorreu de acordo com o já definido na metodologia. Após a secagem, de cada um desses 4 novos corpos de prova foi retirado uma pequena fração para então serem ensaiadas. O ensaio foi realizado, ainda, com uma amostra do mesmo solo argiloso utilizado na confecção dos corpos de prova, também seca a 100°C. Assim, observou-se através de gráficos, o comportamento do solo argiloso e das massas utilizadas na confecção dos corpos de prova no decorrer do aumento da temperatura, simulando a etapa de queima dos mesmos (FIGURA 18).

Figura 18 – Comparação entre os gráficos obtidos no ensaio de DSC.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Comparando apenas as duas curvas referentes ao solo argiloso e à massa do CPSI, percebe-se a diferença de comportamento refletida pela adição da água (curva preta e vermelha, respectivamente – FIGURA 18). Com a incorporação do traquito, os corpos de prova com as incorporações tiveram comportamento mais semelhante ao solo argiloso do que ao comportamento apresentado pelo corpo de prova sem incorporação. Isso pode ser associado ao aumento do percentual de  $\text{SiO}_2$  nas frações ocasionada pelo resíduo de traquito, que consequentemente causou uma redução de plasticidade nas 4 massas.

Ainda acerca da comparação entre os gráficos obtidos no ensaio de DSC (FIGURA 18), em [1] observa-se a formação de picos que caracterizam a transformação do quartzo  $\alpha$  para o  $\beta$  próximo a  $573^\circ\text{C}$ , como já esperado para este mineral, havendo uma reorganização da sua estrutura cristalina, sem que haja alteração de ligação entre as partículas. O início de fusão das amostras pode ser observado a partir das mudanças de concavidade entre [2] e [3], onde em [3] essa fusão já teria ocorrido completamente. Em [2] percebe-se outra mudança de concavidade que caracterizou a formação da fase vítrea das amostras, ou seja, as temperaturas necessárias para que cada tipo de mistura se transformasse em um material cerâmico, que se deu entre  $850^\circ\text{C}$  e  $900^\circ\text{C}$ , aproximadamente. Em  $830^\circ\text{C}$ , então, não se observam comportamentos quanto à mudança de fase, de modo que realmente pode ser

considerado que os corpos de prova ainda não se tornaram cerâmicos, justificando os valores da resistência à compressão uniaxial encontrados para os mesmos nessa temperatura.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados pelos CPSI foram considerados como referência, tendo em vista não ser satisfatório propor a modificação de um material e oferecer características inferiores às comercialmente já oferecidas.

Independente dos percentuais de incorporação e da temperatura empregada nas queimas, todos os corpos de prova atenderem ao intervalo de absorção de água (8% – 25%) solicitado pela NBR 15270-1/2017 e em comparação com o CPSI, os CPCI apresentaram menores percentuais de AA, o que pode ser explicado tanto pela granulometria do resíduo ser inferior à granulometria do solo argiloso, que preencheu os interstícios, bem como pelo uso do traquito como material fundente, que ajudou na formação de fase líquida durante a queima, reduzindo a porosidade. O controle quanto a porosidade final de blocos cerâmicos é importante pois a mesma reflete o desempenho das peças quanto o desenvolvimento de patologias nas edificações, como eflorescência e em alguns casos até fissuras e trincas.

Outro resultado positivo foi que não houve retração linear nos corpos de prova após a secagem ou após a queima. Como já citado, a ocorrência de retração e de desvio em relação ao esquadro além de dar um mal aspecto as peças acabadas, colaboram para que as peças não consigam desempenhar perfeitamente a função para a qual as mesmas foram produzidas devido a distribuição irregular de cargas causada por esses dois defeitos.

Quanto à resistência, outra característica bastante importante, os corpos de prova queimados a 830°C foram desconsiderados para comparação com os demais. Assim, foi descartada a possibilidade de queima nessa temperatura, tendo em vista o comportamento apresentado pelos mesmos. Para a massa utilizada e nas condições consideradas para produção dos corpos de prova propostos, a queima a 830°C não fornece energia suficiente para que o material atinja a fase vítrea e conseqüentemente chegue a formar o cerâmico desejado. Esse resultado pode ser confirmado a partir do ensaio de DSC realizado.

Os demais corpos de prova atenderam, também, ao valor mínimo de resistência imposto pela NBR 15270-1/2017 (1,5MPa), porém, os CPCI-15 atingiram valores menores que os dos CPSI (média de 1,82MPa), estabelecidos como referência. Os CPCI-10 atenderam ao valor mínimo de referência estabelecido apenas com a queima à 870°C, indicando que a incorporação em 10% pode favorecer uma redução de até 30°C na temperatura de queima. Já os CPCI-5 além do menor custo/benefício com a incorporação, apresentaram resistências mais satisfatórias que os CPSI nas queimas realizadas a 870°C e 850°C, possibilitando, assim, uma redução de até 50°C na temperatura de queima das peças, sendo este o melhor resultado.

Os percentuais de 5%, 10% e 15% foram utilizados com base em outros estudos já realizados, como citado na literatura, pelo fato de o interesse estar em comparar os resultados desses mesmos percentuais para um solo argiloso e um traquito coletado em outro local e em outras condições e para uma faixa de temperatura de queima diferente. Assim, a incorporação do pó de traquito pode ser feita para alterar a temperatura necessária para a queima de blocos cerâmicos de vedação, mantendo qualidade, desde que em percentuais próximos a 5%. Esta conclusão pode ser alterada caso sejam empregadas, para os mesmos materiais, granulometrias e processo produtivo diferentes, por isso é importante caracterizar sempre os materiais e conhecer bem o processo a fim de manter as variáveis estáveis e fazer compensações quando necessário. Este percentual de 5% superou positivamente os resultados já apresentados por outras pesquisas quanto o próprio percentual de incorporação (que variava em torno de 15% e em alguns casos até 40%) e quanto problemas com as características tecnológicas (variação de retração brusca e tendência a redução da resistência). O comportamento quanto absorção de água foi o mesmo que apresentado nos outros estudos, indicando que é característico da incorporação tender a redução da absorção de água.

Apesar de não ter sido realizada uma análise econômica mais profunda, do ponto de vista do gasto energético, a incorporação 5%, aparentemente irrisória, foi capaz de reduzir em até 50°C a temperatura tradicional de queima. Isso representa uma economia em nível industrial, por propor modificação na etapa mais dispendiosa da produção, a queima.

Outro ponto positivo, já com um viés ambiental, foi que a proposta da incorporação ofereceu uma solução para que quantidades menores desse resíduo sejam depositadas no meio ambiente, reduzindo impactos causados pela lavra da rocha traquito.

Para trabalhos futuros sugerem-se o estudo dos mesmos percentuais de incorporação, em massas cerâmicas envolvendo solos argilosos coletados em outros municípios e o estudo dessa incorporação em outras peças cerâmicas, desenvolvendo paralelamente uma análise estatística dos resultados.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. C. De; SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. Da; BUOSO, A. Rochas e Minerais para Cerâmica de Revestimento. **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, parte II, cap.27, p.559 – 582, 2005.

ANDRADE, P. M.; NETO, H. S. N.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Efeito da adição de fonolito na sinterização de argila caulinítica. **Cerâmica**, v. 51, n. 320, p. 361-370, 2005.

ARAÚJO, J. F. **A influência da adição de caulim, quartzo e feldspato potássico na formulação de massas cerâmicas para telhas: modelo estatístico**. 2008. Dissertação (Engenharia mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008. 87p.

ARZILLI, F.; FABBRIZIO, A.; SCHMIDT, M. W.; PETRELLI, M.; MAIMAITI, M.; DINGWELL, D. B.; PARIS, E.; BURTON, M.; CARROLL, M. R. The effect of diffusive re-equilibration time on trace element partitioning between alkali feldspar and trachytic melts. **Chemical geology**, v. 495, p. 50-66, 2018.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM)**. Informações Técnicas. Definição e Classificação. São Paulo, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457 – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459 – Solo: Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180 – Solo: Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181 – Solo: Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1 – Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 26p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2 – Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 29p.

BIFFI, G. O. **Grês Porcelanato: manual de fabricação e técnicas de emprego**, 3. ed. Rio Claro, Faenza: Ed. do Brasil, 2002.

BOIVIN, P.; MIALLIER, D.; CLUZEL, N.; DEVIDAL, J. L.; DOUSTEYSSIER, B. Building and ornamental use of trachyte in the center of France during antiquity: Sources and criteria of identification. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 3, p. 247-256, set 2005.



COLETTI, C. Bricktech: assessment for the use of waste in the brick production. Petrophysical characterization of new mix designs and optimization of the firing conditions. **Plinius**, n. 4, p. 20-26, 2016.

GAIDZINSKI, R.; FILHO, J. D.; TAVARES, L. M. M. Sazonamento e homogeneização de argilas em pilhas. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 5/6, p. 19-22, set/dez 2005.

GOMES, I. P.; Et. al. Materiais de construção civil na região metropolitana de Fortaleza. CD-ROM. – **Informe de Recursos Minerais (IRM)**. Série Rochas e Minerais industriais, v. 18. Programa Geologia do Brasil. Fortaleza: CPRM, 2016.

GOMES, S. A.; ROBERTO, F. A. C.; SILVA, C. A. Rochas vulcânicas alcalinas ocorrentes na Região Metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará, e o seu potencial para uso no setor de rochas ornamentais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos, SP. **Anais...** São Paulo: SBG Núcleo São Paulo, 2012.

GONÇALVES, L. B. **Sistema inteligente de classificação de imagens de rochas macroscópicas para a indústria de petróleo**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2010. 309p.

KAZMIERCZAK, C. S. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência dos Materiais**, v. 1, 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. **Journal of Petrology**. Oxford. v. 27, p. 745-750, 1986.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 8.3, p. 110-117, 2013.

OLIVEIRA, L. I. A. **Estudo de um traquito da região de Mafra para aplicação como rocha ornamental**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 2017. 124p.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 367p.

RIELLA, H. G.; FRANJNDLICH, C.; DURAZZO, M. Caracterização e utilização de fundentes em massas cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 33-35, mai/jun 2002.

SANCHEZ-MUÑOZ, L.; CAVA, S. da S.; PASKOCIMAS, C. A.; CERISUELO, E.; LONGO, E.; CARDA, J. B. Influência da composição das matérias-primas no processo de gressificação de revestimentos cerâmicos, **Cerâmica**, v. 48, n. 307, p. 137-145, 2002.

SANTOS, P. de S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1989. v. 1. 498p.

SILVA, H. V.; CASTRO, N. F. Influência das propriedades petrográficas nas características tecnológicas de rochas ornamentais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011.

TEIXEIRA, A. M. S; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A. Caracterização da rocha Fonolito pelas técnicas de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e infravermelho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 34., 2011, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Centro de Convenções do Costão do Santinho Resort, 2011.

ZACCARON, A. **Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo.** 2013. Monografia (Engenharia ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2013. 121p.