



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto  
Departamento de Engenharia de Minas  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM



# ADSORÇÃO DE ÓLEO DIESEL EM RESÍDUO DE ESTEATITO E SUA INCORPORAÇÃO EM CERÂMICA

Autora: **HELOÍSA NEVES DE SOUZA**

Orientadora: **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ÉRICA LINHARES REIS**

Coorientadora **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ROSA MALENA FERNANDES LIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de concentração:  
**Tratamento de Minérios**

Ouro Preto/MG

Maio de 2016

S729a Souza, Heloisa Neves de.  
Adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito e sua incorporação em cerâmica  
[manuscrito] / Heloisa Neves de Souza. - 2016.  
70f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Érica Linhares Reis.  
Coorientadora: Profa. Dra. Rosa Malena Fernandes Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mineral.  
Área de Concentração: Tratamento de Minérios.

1. Pedra-sabão. 2. Adsorção. 3. Combustíveis para motores. 4. Cerâmica. I.  
Reis, Érica Linhares. II. Lima, Rosa Malena Fernandes. III. Universidade  
Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 553.673

**“ ADSORÇÃO DE ÓLEO DIESEL EM RESÍDUO DE ESTEATITO  
E SUA INCORPORAÇÃO EM CERÂMICA ”**

**AUTORA: HELOÍSA NEVES DE SOUZA**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 04 de maio de 2016, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



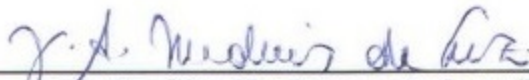
---

**Prof.ª Dr.ª. Érica Linhares Reis (Orientadora) – UFOP**



---

**Prof. Dr. Carlos Roberto Ferreira (Membro) – IFMG**



---

**Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz (Membro) – UFOP**

A meus pais, José e Erotildes, fonte de amor inesgotável

## **AGRADECIMENTOS**

Às orientadoras Érica Linhares Reis e Rosa Malena Fernandes Lima, cuja orientação, amizade e apoio me possibilitaram chegar até o final. Obrigada por todas as palavras de carinho e incentivo, bem como valiosas discussões.

Ao DEMIN/EM/UFOP que, ao ceder seus laboratórios, possibilitou a parte mais valiosa deste trabalho. Ao CNPq e PROPP/UFOP pelo suporte financeiro.

Aos professores Carlos Alberto Pereira, José Aurélio Medeiros da Luz e Otávia Rodrigues Martins por todos os ensinamentos e incentivos.

À grande amiga, Maria Eugênia, cuja paciência e carinho tantas vezes mudaram minha perspectiva sobre este trabalho me incentivando de maneira inimaginável. Obrigada por toda a ajuda e discussões.

A meus pais e irmãos que me apoiam desde sempre, sendo seio de amor e educação inigualável. Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

Aos amigos que tanto torceram e me acolheram com carinho e atenção, em especial: Giuliana, Lucas e Jociele que estiveram comigo durante esses longos dois anos.

## RESUMO

O esteatito é uma rocha que representa importante papel na economia de alguns distritos de Ouro Preto – Minas Gerais, sendo a principal matéria-prima utilizada no artesanato local. O processo de fabricação das peças artesanais gera uma grande quantidade de finos que, normalmente, são depositados próximo às oficinas sem nenhuma forma de controle. O talco é o principal mineral que compõe o esteatito e é um importante mineral naturalmente hidrofóbico de alta área superficial específica; o que o torna um potencial adsorvente de óleos. A contaminação de ambientes por óleos é comum em diversos setores produtivos, ocorrendo, inclusive, nas oficinas de artesanato em pedra-sabão. A adsorção de óleo em minerais hidrofóbicos/oleofílicos tem sido usada no tratamento de contaminações ambientais por óleos. Este trabalho apresenta estudos de adsorção de óleo diesel em resíduos finos de esteatito gerados por oficinas de artesanato do distrito Santa Rita de Ouro Preto - MG. A adsorção média de óleo diesel no resíduo foi de aproximadamente 1,79g/g em sistema abundante em óleo com tempo de contato de 2 horas e tempo de repouso de 30 minutos. Avaliou-se a influência da calcinação do resíduo na sua capacidade de adsorção e, sendo obtido valores de adsorção em torno de 1,2g/g no tempo de contato de 30 minutos e repouso de 5 minutos. O resíduo de esteatito e o resíduo de esteatito adsorvido de óleo foram posteriormente adicionados a massa de solo argiloso para fabricação de cerâmica vermelha. Avaliou-se nessa sessão do trabalho a influência da pressão de compactação dos corpos de prova (14MPa e 28MPa), da temperatura de queima dos corpos (850°C e 1000°C) e da composição (solo argiloso puro - substituições de 5% e 15% da massa de solo por finos de pedra-sabão e 5 e 15% em substituição ao solo por finos de pedra são com óleo diesel adsorvido). Os resultados obtidos mostraram que os corpos de prova solo-finos com substituição de 15% da massa de solo por resíduo de esteatito, compactados a 28MPa e queimados a 1000°C apresentaram as melhores características de retração linear de queima, absorção de água e resistência à compressão simples. Mas a presença de óleo na composição, de maneira geral, não afetou as características da cerâmica.

**Palavras-chave:** esteatito; finos de pedra-sabão; adsorção; óleo diesel; cerâmica.

## ABSTRACT

Steatite rock plays an important role in the local economy at some districts of the city of Ouro Preto in the state of Minas Gerais, Brazil, being used as the main raw material for handicrafts. The manufacturing process of handicrafts involves significant waste generation. Talc is the main mineral in the steatite composition and it is a naturally hydrophobic mineral that presents high specific surface area; which makes it a potential adsorbent of oils. The environments oil contamination is a common environmental liabilities in various productive sectors, also occurring in the steatite beneficiation process used in crafts. The adsorption of oil onto hydrophobic / oleophilic minerals has been used as an alternative for solving oil spills. This work presents studies of diesel oil adsorption into fine steatite waste generated by craft workshops in Santa Rita de Ouro Preto. The average diesel adsorption at residue was about 1,79g/g at a system of abundant oil with contact time of 2 hours and rest time of 30 minutes. The influence of the calcination of residue on its adsorption capacity was evaluated and, in general, the calcined residue was less effective in oil adsorption of than the residue that did not go through the calcination process. The residue of steatite and oil adsorbed steatite residue were later added to clay soil mass for the manufacture of red ceramic. The influence of the compacting pressure of specimens (14MPa and 28MPa), the bodies firing temperature (850 °C and 1000 °C) and the composition of the ceramic mixture (pure soil clay, steatite residue and oil adsorbed steatite residue with replacements of 5% and 15%) was evaluated in this work session. The replacement of 15% of steatite residue on clay composition compressed to 28MPa and burned at 1000 °C showed the best features of linear firing shrinkage, water absorption and resistance to simple compression. The presence of oil in the composition, in general, did not affect the characteristics of ceramics.

**Keywords:** soapstone; oil adsorption; diesel oil; ceramic products.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero .	14
<b>Figura 3.2</b> Estrutura química do talco	15
<b>Figura 4.1</b> Fluxograma da confecção dos corpos-de-prova solo, solo-resíduo de esteatito e solo-resíduo de esteatito com óleo diesel adsorvido.	34
<b>Figura 5.1</b> Distribuição granulométrica do solo argiloso após a moagem	39
<b>Figura 5.2</b> Curva termogravimétrica e diferencial da massa de solo argiloso.	41
<b>Figura 5.3</b> Curva termogravimétrica e diferencial da massa de resíduo de esteatito	42
<b>Figura 5.4</b> Adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito em diferentes tempos de contato e escoamento	44
<b>Figura 5.5</b> Adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito calcinado em diferentes tempos de contato e escoamento.	46
<b>Figura 5.6</b> Cinética de adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito e resíduo de esteatito calcinado.	47
<b>Figura 5.7</b> Retração Linear de Queima dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido (SPSO) com diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.	50
<b>Figura 5.8</b> Massa Específica Após Queima (MEQ) dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido (SPOS) após diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.	51
<b>Figura 5.9</b> Absorção de água dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido (SPOS) após diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.	52



<b>Figura 5.10</b> Resistências à compressão simples dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido em diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima. ....	53
<b>Figura 5.11</b> Corpos de prova compostos por solo argiloso. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.....	55
<b>Figura 5.12</b> Corpos de prova compostos por solo argiloso e resíduo de esteatito 5% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.....	55
<b>Figura 5.13</b> Corpos de prova compostos por solo argiloso e resíduo de esteatito 15% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.....	56
<b>Figura 5.14</b> Corpos de prova compostos por solo argiloso, resíduo de esteatito e óleo diesel com 5% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.....	56
<b>Figura 5.15</b> Corpos de prova compostos por solo argiloso, resíduo de esteatito e óleo diesel com 15% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.....	56
<b>Figura 5.16</b> Micrografias obtidas ao MEV apresentando aspectos morfológicos e de microestrutura dos corpos de prova SPO15 (figuras a e b) e SP15 (figuras c e d). Imagem de elétrons retroespalhados (a e c) e imagens elétrons secundários (b e d) Aumento de 120x.....	58
<b>Figura 5.17</b> Micrografias obtidas ao MEV apresentando aspectos morfológicos e de microestrutura dos corpos de prova SP15 (imagem e) e SPO15 (imagem f). Imagem de elétrons retroespalhados. Aumento de 120x. ....	59

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> Propriedades e mineralogia do talco e seu uso na indústria .....	16
<b>Tabela 3.2</b> Características óleos refinados.....	18
<b>Tabela 3.3</b> Principais categorias classificadoras e características de sorventes .....	22
<b>Tabela 3.4</b> Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha .....	24
<b>Tabela 3.5</b> Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha .....	25
<b>Tabela 3.6</b> Parâmetros para blocos e tijolos de cerâmica vermelha .....	26
<b>Tabela 4.1</b> Composição química da amostra de resíduo de esteatito de Santa Rita de Ouro Preto-MG.....	28
<b>Tabela 4.2</b> Características físicas e mineralógicas da amostra de resíduo de esteatito de Santa Rita de Ouro Preto-MG .....	28
<b>Tabela 4.3</b> Composição química da amostra de solo.....	29
<b>Tabela 4.4</b> Dados de caracterização das amostras de solo.....	29
<b>Tabela 4.5</b> Composição granulométrica da amostra de solo .....	29
<b>Tabela 5.1</b> Quantidade de óleo diesel adsorvido em função do tempo para o resíduo de esteatito .....	43
<b>Tabela 5.2</b> Quantidade de óleo diesel adsorvido em função do tempo para o resíduo de esteatito calcinado.....	45
<b>Tabela 5.3</b> Retração Linear de Secagem.....	49

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	viii
SUMÁRIO.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral .....	13
2.2. Objetivos Específicos .....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Resíduos do Artesanato de Esteatito em Santa Rita de Ouro Preto.....	14
3.2. O Mineral Talco e suas Aplicações .....	15
3.3. Contaminação do Meio Ambiente por Óleo .....	17
3.4. Adsorção de Óleo na Mitigação de Derramamentos de Óleo.....	20
3.5. Adsorção de Óleo em Talco e Clorita.....	22
3.6. Utilização de Resíduos na Fabricação de Materiais Cerâmicos .....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1. Resíduo de Esteatito.....	28
4.2. Solo para Confeção dos Corpos de Prova Cerâmicos.....	29
4.3. Cominuição e Análise Granulométrica da Amostra de Solo .....	30
4.4. Análise termogravimétrica das amostras de solo argiloso e resíduo de Esteatito.....	30
4.5. Ensaio de Adsorção de Óleos em Resíduo de Esteatito .....	31
4.5.1. Sistema Óleo.....	31

4.5.2.	Sistema Óleo e Água .....	32
4.6.	Confecção dos Corpos-de-Prova Cerâmicos .....	34
4.6.1.	Etapas da Confecção dos Corpos de Prova Cerâmicos .....	35
4.6.2.	Ensaio tecnológicos para cerâmica .....	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1.	Caracterização Granulométrica do Solo .....	39
5.2.	Análise Termogravimétrica da Amostra de Solo e de Finos de Esteatito .....	40
5.3.	Ensaio de Adsorção .....	43
5.3.1.	Sistema óleo.....	xliii43
5.3.2.	Sistema óleo-água – contato estático.....	47
5.3.3.	Sistema óleo-água – contato dinâmico .....	48
5.4.	Ensaio para Avaliação dos Corpos-de-Prova Cerâmicos .....	48
5.4.1.	Retração Linear de Secagem (RLS) .....	48
5.4.2.	Retração Linear de Queima (RLQ) .....	49
5.4.3.	Massa Específica Após Queima (MEQ).....	50
5.4.4.	Absorção de Água (AA) .....	52
5.4.5.	Resistência à Compressão .....	53
5.4.6.	Cor .....	56
5.4.7.	MEV .....	57
6.	CONCLUSÕES .....	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

O esteatito tem um alto valor histórico e econômico em Ouro Preto - MG. A utilização dessa rocha como matéria prima por artistas e artesãos remota ao período colonial e, em certos aspectos, mistura-se à história da exploração de ouro no município, que teve seu auge na primeira metade do século XVIII (BEZERRA, 2002).

Atualmente, turistas do mundo inteiro aquecem o comércio de artesanato de esteatito, ensejando o crescimento do ramo. Além disso, os custos iniciais para se estabelecer uma oficina de artesanato são baixos, a área requerida é pequena e não é necessária grande especialização da mão de obra, fazendo com que muitas famílias vejam no artesanato uma boa fonte de renda (TORRES, 2007).

Segundo Silva *et al.* (2006) a produção local de artesanato em Ouro Preto e seus distritos consome cerca de 3,7 vezes mais esteatito do que aquele que é destinado à exportação brasileira. O consumo de esteatito pelas oficinas de artesanato da região de Ouro Preto é de cerca de 362 toneladas mensais, em seu distrito de Santa Rita de Ouro Preto este consumo é de cerca de 162 toneladas por mês.

Almeida (2006) aponta que o artesanato em esteatito em Santa Rita de Ouro Preto gera sustentabilidade social, já que beneficia 93,43% de sua população. Entretanto, o sistema é ambientalmente insustentável já que 90% da matéria-prima se transforma em resíduo ao final do processo. Pode-se estimar que cerca de 146 toneladas de resíduo de esteatito são geradas por mês e pelo menos 1225 toneladas de resíduo são descartados anualmente sem nenhum critério ambiental. Essa é uma situação preocupante que precisa ser avaliada e resolvida.

O talco, principal constituinte do esteatito explotado na região de Ouro Preto (RODRIGUES, 2010), é um mineral naturalmente hidrofóbico e sua alta afinidade por óleos e graxas é uma característica aproveitada nas indústrias de papel, borracha e tintas. O talco é um mineral versátil e pode ser utilizado como agente fundente na indústria cerâmica, podendo formar produtos de maior resistência térmica e/ou elétrica.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA, 2014) estima que mais de 472.530 litros de óleo diesel tenham sido derramados no ambiente devido a acidentes no ano de 2013. Do total de acidentes relatados nesse ano, 40,7% ocasionaram contaminação de rios, córregos, lagos e mar.

A mitigação de acidentes ambientais que envolvem derramamento de óleo envolve técnicas como combustão, submersão, dispersão, uso de barreiras, escumadeiras e/ou materiais

sorventes. A limpeza de derramamentos de óleo em corpos d'água por materiais sorventes é uma técnica relativamente barata e eficiente. A sorção é uma técnica que pode ser aplicada em locais de difícil acesso e consegue retirar óleo em concentrações baixas e camadas muito finas (ITOPF, 2014).

A destinação econômica e ambientalmente responsável de agregados adsorvidos de óleo de derramamento é uma importante área de estudo. A incorporação de resíduos oleosos em cerâmica tem sido estudada e os resultados se mostram promissores.

Levando em consideração as propriedades oleofílicas do talco, principal componente do esteatito e a significativa quantidade de resíduo (finos) gerada pelas oficinas de artesanato da região de Ouro Preto é de se considerar que tal resíduo possa ser utilizado na mitigação de contaminações por óleo diesel desde que haja propostas ambientalmente responsáveis para disposição final de agregados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a aplicabilidade de resíduos (finos) de esteatito, gerados em oficinas de artesanato da região de Ouro Preto – MG (distrito Santa Rita de Ouro Preto), como agente sorvente de óleo diesel e analisar a posterior utilização dos resíduos da adsorção de óleo para fabricação de materiais cerâmicos.

### **2.2. Objetivos Específicos**

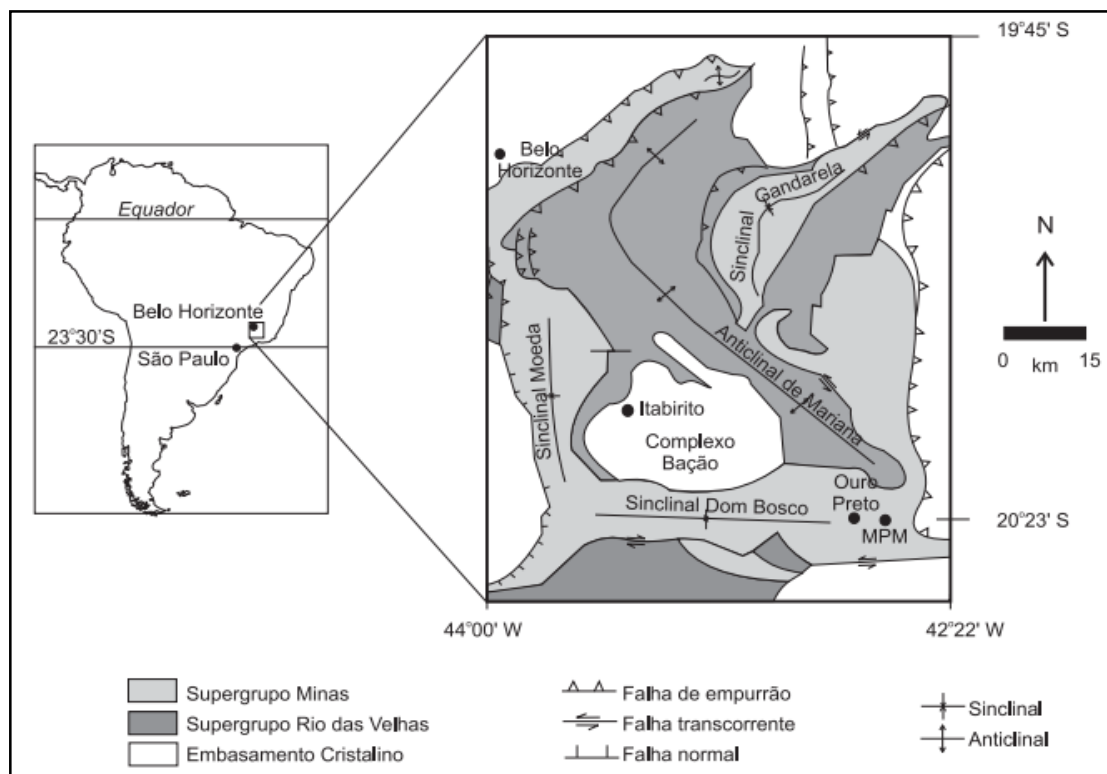
- Avaliar a adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito e no resíduo de esteatito calcinado;
- Avaliar a capacidade de adsorção de óleo pelo resíduo de esteatito em sistema contendo água;
- Avaliar propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova de cerâmica vermelha com substituição de solo-argiloso por resíduos finos de pedra-sabão e finos de pedra-sabão após a adsorção de óleo diesel;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Resíduos do Artesanato de Esteatito em Santa Rita de Ouro Preto

Esteatito é uma rocha composta principalmente por talco, mas que pode conter clorita, serpentina, magnesita, antigorita, e, até, quartzo, magnesita e pirita. É classificado como esteatito a rocha composta por um mínimo de 35% de talco e que seja composta em mais que 25% pelos minerais clorita, serpentina, dolomita, magnesita, tremolita e actinolita (KUZVART, 1984). É considerado esteatito a rocha que contenha no máximo 1,5% de CaO, 1,5% de  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_4$  e 4% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (PINHEIRO, 1973).

Roeser *et al* (1980) realizaram estudo sobre a petrogênese dos esteatitos do sudeste do Quadrilátero Ferrífero, caracterizando pedra-sabão formada em Ouro Preto e seus distritos como rochas esteatito formadas sobre o embasamento cristalino da região. O mapa geológico simplificado da região está apresentado na figura 3.1.



**Figura 3.1** Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero (GARDA *et al.*, 2009).

A rocha esteatito é empregada como matéria-prima em diversos setores manufatureiros, desde o artesanato, que é bastante significativo na região de Ouro Preto, até a

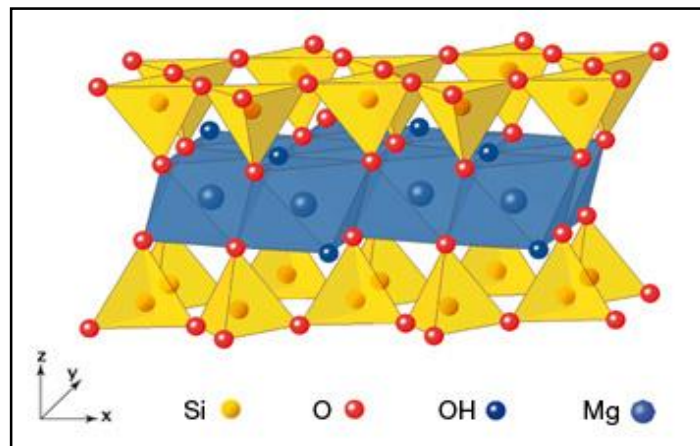


cerâmica de isolamento térmico/elétrico. Para o setor de cerâmicas o conhecimento da mineralogia e do diagrama de mudanças de fases durante queima da rocha permite a previsão de características estruturais determinantes na qualidade de seus produtos.

Torres *et al.* (2012) realizaram ensaios térmicos para avaliação de mudança de fase e sinterização de esteatito (pedra-sabão) da região de Ouro Preto realizando aquecimento controlado das amostras nas temperaturas de 500, 1000, 1200, 1300 e 1400°C. Os ensaios apontaram que, a partir de 850°C, a desidroxilação leva à formação de sílica amorfa a 1000°C e protoenstatita a 1200°C. A protoenstatita, por sua vez, se transforma em clinoenstatita, fase predominante a 1300°C. A 1400°C traços de cordierita aparecem no sistema devido à presença de clorita.

### 3.2. O Mineral Talco e suas Aplicações

O talco é um mineral pertencente à classe dos argilominerais que, quando puro, é composto por 31,7% de MgO, 63,5% de SiO<sub>2</sub> e 4,8% de H<sub>2</sub>O. A figura 3.2 apresenta a estrutura química do talco.



**Figura 3.2** Estrutura química do talco (www.imerstalco.com, 2015)

Os elementos químicos Al e Ti e titânio podem substituir parcialmente o Si e o Fe podem substituir uma parte do magnésio o que ocasiona mudança de cor do mineral que geralmente é branco. O talco é formado pela alteração de silicatos magnesianos como olivinas, piroxênios e anfibólios, apresentando estrutura lamelar, com uma camada octaédrica, composta principalmente pelo Mg, entre duas camadas tetraédricas de SiO<sub>2</sub> (KLEIN e DUTROW, 2012).

O talco apresenta aplicabilidade nos mais diversos setores industriais como, por exemplo, nas indústrias de cerâmicas, defensivos agrícolas, tintas e vernizes, cosméticos, papeis, produtos alimentares, borrachas, fármacos, plásticos e produtos asfálticos. A grande variedade de utilidade do talco se deve às propriedades de hidrofobicidade natural, alta resistência ao choque térmico, leveza, brilho intenso, alto poder de lubrificação e deslizamento, alta capacidade de absorção de óleo e graxa, baixa condutibilidade térmica e elétrica, alta área de superfície, inércia química e boa retenção como carga (PINHEIRO, 1973).

A tabela 3.1 correlaciona as principais indústrias que utilizam talco e a propriedade do mineral que o tornam atrativo para tal segmento industrial.

A maior consequência da hidrofobicidade do talco é a alta afinidade por materiais apolares como óleos e gorduras. As indústrias do papel, da tinta e da borracha utilizam essa afinidade e adicionam talco ao processo para que ele adsorva e imobilize moléculas de óleo contaminantes do produto.

**Tabela 3.1** Propriedades e mineralogia do talco e seu uso na indústria

<i>Usos</i>	<i>Mineralogia</i>	<i>Propriedades</i>
<i>Tintas (espalhador)</i>	Partículas lamelares	Inércia química, hidrofobicidade, alvura
<i>Cosméticos (carga)</i>	Sem tremolita e carbonatos	Hidrofobicidade natural, leveza, lisura, maciez, inércia química, alvura
<i>Papel (cobertura)</i>	Isento de tremolita	Hábito placóide, inércia química, alvura
<i>Inseticida</i>	-----	Inércia química
<i>Borracha (lubrificante)</i>	-----	Hidrofobicidade, inércia química
<i>Têxteis</i>	Sem minerais de alta dureza.	Alvura
<i>Sabão</i>	-----	Inércia química, alvura
<i>Papel (carga)</i>	-----	Inércia química, hidrofobicidade
<i>Rações (veículo)</i>	Sem minerais de dureza > 4	Inércia química
<i>Fertilizantes</i>	-----	Inércia química
<i>Plástico (carga e reforço)</i>	Talco ou Pirofilita	Inércia química, alvura
<i>Antiaderente</i>	Talco ou Pirofilita	Inércia química, alvura

**Fonte:** Pontes e Almeida (2005) (adaptado)

Segundo Charnay *et al.* (2000), a superfície do talco é bastante heterogênea em relação à hidrofobicidade, sendo comum encontrar uma superfície basal hidrofóbica e uma extremidade polar. A polaridade da extremidade é explicada por Miller *et al.* (2007) como consequência do desequilíbrio de cargas gerado pela quebra de ligações Si-O na extremidade da partícula de mineral.

A diminuição do tamanho de partículas do talco está ligada ao aumento do hidrofobicidade de suas superfícies. A diminuição do talco diminui a relação entre a área superfície basal e a área da extremidade da partícula, tornando-o mais hidrofílico que hidrofóbico (MILLER *et al.*, 2007).

A elevada proporção de MgO na composição química do talco é de grande interesse para a indústria cerâmica, especialmente para o setor de refratários, já que o óxido de magnésio apresenta alta refratariedade (ponto de fusão na ordem de 2800°C) e resistência à corrosão em meios básicos (SALOMÃO *et al.*, 2006). A função do talco nas cerâmicas, de maneira geral, é a de agir como fundente, mantendo a plasticidade, dando consistência e diminuindo o tempo de maturação da massa pela ação do óxido de magnésio (PONTES e ALMEIDA, 2005).

### **3.3. Contaminação do Meio Ambiente por Óleo**

Óleos são compostos orgânicos, geralmente, hidrocarbonetos ou ésteres, de origem mineral, vegetal ou animal, que se mantém no estado líquido na temperatura ambiente, apresentam baixa solubilidade em água e, em geral, baixa massa específica. A Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA-US) (2014a) aponta que a contaminação de ambientes naturais por óleo pode acontecer com óleos minerais crus e refinados ou óleos não-petrolatos.

Dentro dos grupos óleos crus e óleos refinados existem subclassificações que se baseiam principalmente no tamanho da cadeia hidrocarbônica e volatilidade dos compostos. A tabela 3.2 apresenta as principais características dos óleos refinados.

O derramamento de óleo é uma grande preocupação tanto quando ocorre em ambientes aquáticos quanto quando ocorre em solos. A presença de óleo em ambientes aquáticos provoca impactos como: aumento da demanda biológica de oxigênio (DBO), diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD), diminuição do pH e aumento da temperatura do meio devido ao aumento da atividade microbiana (ENUJIUGHA e NWANNA, 2004). Presença de compostos derivados de óleo em solos modifica propriedades

físico-químicas do solo, sua estrutura e a composição das populações de microrganismos do mesmo (KUCHARSKI *et al.* 2004, apud KUCHARSKI *et al.* 2010).

**Tabela 3.2** Características óleos minerais refinados.

ÓLEOS REFINADOS						
Gasolina	Querosene	Óleo Combustível n° 2 (Diesel)	Óleo Combustível n° 4	Óleo Combustível n° 5 (Bunker B)	Óleo Combustível n° 6 (Bunker C)	Óleo Lubrificante
-leve -pouco viscoso - inflamável -tóxico -biodegradável	-leve -pouco viscoso -fácil dispersão	-baixa massa molecular -pouco viscoso -emulsão difícil -pouco persistente ao ambiente (fácil degradação)	-média massa molecular -baixa volatilidade -persistente ao ambiente	-média a alta massa molecular - baixa volatilidade -óleo necessita ser aquecido antes de utilizado no inverno	-alta massa molecular -requer pré-aquecimento -mais pesado que a água -baixa volatilidade	-média massa molecular -pouco viscoso -baixa volatilidade -persiste ao ambiente

Fonte: EPA-US (2014b)

A contaminação de águas é uma questão de grande preocupação mundial dado o cenário de crise hídrica atual. Grande parte dos países ocidentais já apresenta legislações específicas que garantem a proteção dos corpos d'água em seus territórios. A resolução n°357 do CONAMA (2005) define que óleos e graxas devem ser virtualmente ausentes em corpos de águas doces de classes I e II, de águas salgadas de classe I e em águas salobras de classe I. Para as classes III de água doce e II de água salgada e salobra é determinado que se tolera iridescências.

Em casos de contaminação ambiental por óleo, o conhecimento das características do óleo contaminante é essencial para que a mitigação do problema seja realmente efetiva. Além do tipo de óleo contaminante, a poluição de ambientes por óleos pode ser identificada conforme a fonte de poluição, que pode ser de origem difusa ou pontual.

A poluição difusa se deve ao despejo doméstico de óleo comestível ou do despejo de óleo mineral originado em lavagem de maquinários, carros, postos de combustível, entre outros, na rede de esgoto. A poluição pontual é causada, principalmente, por acidentes rodoviários e marítimos de carregamentos de óleos combustíveis ou vegetais.

A contaminação difusa por óleo é a mais expressiva e comum, embora não sejam avaliadas de maneira eficiente no Brasil, havendo muita divergência e falta de informação. As contaminações pontuais, decorrentes de acidentes, apresentam maior potencialidade de

destruição ambiental local. A poluição de ambientes aquáticos com hidrocarbonetos petrolatos por ação antropogênica é estimada em  $2,37 \times 10^6$  toneladas anual no mundo todo (WAINIPEE *et al.*, 2013), cerca de 34,8% se devem a derramamentos (CHOUKSEY *et al.*, 2004).

Diversas indústrias fazem controle de efluentes oleosos para se adequarem as normas brasileiras, inclusive a indústria mineral. Na mineração, efluentes oleosos podem ser gerados na lavagem de maquinários e caminhões, no abastecimento de caminhões, automóveis e máquinas a diesel e também em processos específicos de tratamento de minérios, como por exemplo, a flotação.

Alguns processos de mineração utilizam tanto óleos vegetais quanto minerais. A mineração de cálcio, bário, estrôncio, magnésio e minerais fosfáticos, por exemplo, comumente emprega óleo vegetal saponificado como agente coletor na etapa de flotação direta. Os óleos vegetais usados são chamados *tall-oil* e se tratam de uma combinação de ácidos graxos sendo o ácido oleico o mais comum, seguido do ácido linoleico (WILLS, 1992). O processamento de minerais naturalmente hidrofóbicos como grafita, carvão, molibdenita e talco envolve o uso de óleo mineral, principalmente o querosene e o óleo diesel, que atua como reforçador de hidrofobicidade (CHAVES, 2006).

Os efluentes gerados de processos ou de manejo de equipamentos podem apresentar óleo livre, dispersão mecânica de óleo, emulsão de óleo estabilizada quimicamente, óleo dissolvido e óleo aderido em partículas sólidas. O tratamento desses efluentes envolve uma fase primária de separação entre a água e o óleo disperso, uma fase secundária para quebrar emulsões e remover óleo disperso e uma fase terciária para remover fases de óleo finamente dispersos. A primeira fase envolve técnicas como sedimentação, flotação ou centrifugação da suspensão. A segunda utiliza tratamento químico e coalescência e na terceira fase se realiza ultrafiltração e tratamento biológico (ABNT/NBR 14063, 1998).

Além da preocupação com o tratamento de efluentes oleosos, as empresas que empregam armazenamento de óleo, como algumas empresas mineradoras que possuem tanques armazenadores de óleos combustíveis ou óleos que são utilizados como insumos de processos, devem se preocupar com planos de resposta em casos de acidentes que envolvam derramamento com contaminação de corpos d'água.

A limpeza de derramamento de óleo poder ser de eliminação ou recuperação. A eliminação consiste em utilizar técnicas como combustão, submersão, dispersão ou biorremediação. Já a recuperação consiste em retomar o óleo derramado, retirando-o do

ambiente com auxílio de sorventes, barreiras e escumadeiras ou gelificando o óleo (EPA-US, 1999).

### **3.4. Adsorção de Óleo na Mitigação de Derramamentos de Óleo**

Apesar de o material absorvente ser, em geral, barato e abundante, sua aplicação se torna custosa devido às operações de coleta do material embebido no óleo e o descarte do mesmo. A maior vantagem está na capacidade de recuperar óleo disperso, em menores concentrações, ou locais de difícil acesso para os equipamentos utilizados por outros métodos mecânicos (ITOPF, 2014). A limpeza por sorção utiliza-se de fenômenos como a absorção e a adsorção para que o material oleoso fique impregnado no material sorvente formando agregados que são mais facilmente removidos do ambiente. As normas ASTM F716 e F726 (1989) (*apud* BAZARGAN *et al.*, 2014) definem e diferenciam material absorvente e adsorvente.

Material absorvente retém líquido distribuindo-o em sua estrutura molecular, causando dilatação no sólido (50% ou mais). O absorvente é pelo menos 70% insolúvel em excesso de líquido. Material adsorvente é um material insolúvel que é recoberto pelo líquido em sua superfície, incluídos poros e capilaridades sem que haja mais de 50% de dilatação em excesso de líquido.

Simplificadamente, a absorção é um fenômeno de massa, envolvendo a distribuição de matéria na estrutura do absorvente, e a adsorção é um fenômeno superficial, envolvendo a distribuição de matéria apenas na superfície do adsorvente. Segundo Bazargan *et al.* (2014), estes fenômenos quase sempre se acompanham mutuamente, sendo comum, portanto, nomear como ‘sorvente’ o material utilizado na remoção de óleo de derramamento, a não ser que haja estudos específicos comprovando a predominância de um ou de outro fenômeno.

O processo de adsorção de um óleo derramado em água pode ser examinado de maneira mais detalhada observando-se fatores como: energia coesiva do óleo, energia adesiva do óleo no sólido, molhabilidade do sólido pelo óleo, espalhamento do óleo sobre a superfície do sólido, tensões superficiais do sólido e do óleo, ação de forças de capilaridade, viscosidade do óleo e temperatura do ambiente (SCHATZBERG, 1971).

Para que uma adsorção de óleo sobre um sólido ocorra com sucesso alguns critérios devem ser atendidos (SCHATZBERG, 1971):

- A tensão superficial crítica do sólido deve ser maior que a tensão superficial da água e menor que a tensão superficial do óleo.
- A penetração de óleo nas capilaridades deve ser favorecida. A penetração do óleo é inversamente proporcional à viscosidade do óleo e diretamente proporcional ao raio das capilaridades.
- Deve haver expressiva força de adesão entre óleo e sólido e a coesão do óleo deve ser tal que, uma vez adsorvido, o óleo tenha tendência a permanecer aglomerado.
- O sólido deve apresentar alta área superficial específica.

A identificação do processo de adsorção é importante para o desenvolvimento de materiais adsorventes. A tabela 3.4 resume as principais categorias classificadoras de sorventes.

Conforme Cooper e Gausemel (1993), um sorvente de óleo eficiente deve possuir habilidade de flutuar na água (boiância) e baixa afinidade de sorção de água para que a capacidade de adsorção/absorção do óleo seja máxima e para que a separação seja possível. O material deve ser bastante oleofílico, sorvendo a máxima quantidade de óleo possível e que é desejável que o material seja reutilizável. A destinação do material embebido em óleo é uma questão crucial na limpeza de derramamento de óleo. Segundo Jones e Najafi (2002) a maioria do óleo derramado que é coletado nos Estados Unidos é reciclado ou queimado, entretanto, milhares de toneladas de detritos de sorventes encharcados por óleo são geradas e precisam de disposição adequada.

A Agência de Controle de Poluição de Minnesota (MPCA) (2005) propõe que solos contaminados com óleo podem ser reutilizados na construção de estradas e mesmo como material de construção de imóveis desde que previamente processado através de um tratamento térmico. O tratamento térmico consiste na destruição de contaminantes orgânicos através da queima do mesmo. A efetividade do processo depende da temperatura, que deve permitir a combustão completa do contaminante em questão (UNITES *et al.*, 1996).

**Tabela 3.3** Principais categorias classificadoras e características de sorventes

ASPECTO CLASSIFICADOR	CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
<b>APRESENTAÇÃO DO SORVENTE</b>	Tipo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filmes, placas, esponjas</li> <li>Largura e comprimento muito maior que a altura</li> </ul>
	Tipo II	<ul style="list-style-type: none"> <li>O sólido apresenta-se desagregado, com partículas não consolidadas.</li> <li>São manejados por pás e conchas</li> </ul>
	Tipo III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almofadas ou barras</li> <li>Material desagregado confinado em malha ou rede de permeabilidade externa</li> </ul>
	Tipo IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adsorventes de estrutura aberta que permitem a intrusão de óleos mais viscosos</li> </ul>
<b>COMPOSIÇÃO DO SORVENTE</b>	Material Orgânico Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sorventes derivados de animais e vegetais, como penas, espigas de milho, turfas, serragem, palha, feno, entre outros.</li> <li>Capacidade de absorção = 3 a 15g/g</li> <li>Baixa seletividade com água.</li> </ul>
	Material Inorgânico Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adsorventes inorgânicos</li> <li>Principais representantes: argilominerais como a vermiculita e bentonita</li> <li>Absorção = 4 a 20g/g</li> <li>Não são biodegradáveis</li> <li>Necessitam hidrofobização da superfície</li> </ul>
	Material Orgânico Sintético	<ul style="list-style-type: none"> <li>Polímeros orgânicos como poliuretano, polietileno, polipropileno, fibras de nylon e espumas de ureia e formaldeído.</li> <li>Absorção = até 40g/g</li> <li>Baixa capacidade de retenção do óleo</li> </ul>
<b>AMBIENTE DE APLICAÇÃO</b>	S/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sorventes recomendados para derramamentos em solo ou em água</li> </ul>
	S	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sorventes recomendados para derramamentos em solo apenas</li> </ul>
	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sorventes recomendados para derramamentos em água apenas</li> </ul>
	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sorventes recomendados para derramamentos em ambientes industriais onde haja presença de reagentes químicos agressivos</li> </ul>

Fontes: Flaherty e Jordan (1989); Cooper e Gausemel (1993); Bazargan *et al.* (2014) (adaptada)

### 3.5. Adsorção de Óleo em Talco e Clorita

Na literatura existem estudos sobre a propriedade de adsorção de óleos pelo talco realizados em indústrias de tintas, celulose, papel, entre outros. Além disso, a aplicação de talco como agente adsorvente de óleos em derramamentos também já foi avaliada.



Zadaka-Amir *et al.* (2012) avaliaram o talco como sorvente de azeite de oliva e óleo de soja em contato com uma superfície de tecido de algodão. Nesses estudos o talco foi capaz de retirar 54% do azeite de oliva e 66% do óleo de soja impregnados no tecido. A taxa de adsorção de óleo de soja em talco 0,23 gramas de óleo para cada grama de mineral. O recobrimento do talco por azeite de oliva foi de 11,2 mg/m<sup>2</sup> e o do óleo de soja foi de 13,5 mg/m<sup>2</sup>. Os autores apontam a ausência de cargas residuais na superfície do talco e a baixa hidratação do mineral como causas do alto recobrimento da superfície por óleo.

Schatzberg (1971) testou o talco como sorvente de óleo Bunker C, um óleo refinado de petróleo, em contato com água do mar sob agitação e contato de 15 minutos. O pesquisador avaliou também a retenção de óleo após adsorção, deixando o aglomerado óleo-mineral sob agitação na água por 6 horas. A adsorção de óleo Bunker C, pelo talco foi de 8,6 g/g e a retenção do óleo foi de 85%.

Casanova *et al.* (2007) estudaram a adsorção de óleo por talco, analisando sua dispersão em soluções não aquosas. O estudo foi realizado com óleo de linhaça, um óleo relativamente polar que contém alta concentração de ácido linoleico (cerca de 94%). Os testes mostraram que a adsorção aumentou com a diminuição do tamanho das partículas de talco devido ao aumento da área superficial específica além do aumento de sítios polares da superfície do talco que auxilia as interações com o óleo. A adsorção do óleo de linhaça por talco encontrada foi de 0,41g/g para amostra com área superficial específica de 35m<sup>2</sup>/g e para amostra com área superficial específica de 7m<sup>2</sup>/g a adsorção foi de 0,28g/g.

A área superficial específica é uma variável de grande influência na capacidade de adsorção de óleo pelo talco dado que esse processo é majoritariamente uma adesão que acontece na interface. Entretanto, a morfologia da partícula exerce importante influência na adsorção. Partículas microcristalinas (em blocos) apresentam menor adsorção de óleo que partículas macrocristalinas (em placas). Esse fenômeno ocorre mesmo para casos em que a área superficial específica do talco microcristalino é maior que a do macrocristalino (MONDO MINERALS, 2015).

A adsorção de óleo depende da composição mineralógica da amostra portadora de talco, a presença de minerais contaminantes como clorita, magnesita e dolomita diminuem a capacidade de absorção de óleo (MONDO MINERALS, 2015).

A adsorção de ácido oleico em talco foi estudada por Rogan (1994). A quantificação da adsorção nesse trabalho foi realizada por cromatografia em fase reversa. Avaliou-se a adsorção máxima de ácido oleico em talco com cinco diferentes tamanhos médios de partículas:

6  $\mu\text{m}$ , 3,5 $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$ , 1,65  $\mu\text{m}$  e menor que 1,5  $\mu\text{m}$ . Os valores de adsorção máxima encontrados para essas faixas de tamanho foram, respectivamente, 22  $\mu\text{mol/g}$ , 57  $\mu\text{mol/g}$ , 92  $\mu\text{mol/g}$ , 101  $\mu\text{mol/g}$  e 115  $\mu\text{mol/g}$ . A adsorção do ácido oleico aumentou com a diminuição do tamanho de partícula do talco e o autor comenta que a adsorção de ácido oleico em talco pode ser governada pela disponibilidade de área superficial do mineral e pela área molecular da molécula de ácido oleico.

### 3.6. Utilização de Resíduos na Fabricação de Materiais Cerâmicos

Shreve e Brink (1997) definem que a cerâmica é constituída por três compostos essenciais: argila, feldspato e areia, sendo a argila um produto de processos de intemperismo de rochas ígneas em que o feldspato era um importante componente. Cerâmica vermelha é o produto resultante da queima de argila que apresenta absorção em de água de 4-20% e apresenta coloração avermelhada devido à presença de ferro em sua constituição (KOGEL et al., 2006)

O processo industrial de fabricação da cerâmica vermelha envolve a coleta da argila, preparação (homogeneização e adequação granulométrica), a mistura de componentes, a secagem e a queima, e cada uma das etapas possuem variáveis determinantes na qualidade do produto (BACCELLI JR., 2010).

A tabela 3.4 apresenta a composição por faixa granulométrica mais utilizada em diferentes produtos da indústria de cerâmica vermelha. A tabela 3.5 apresenta as principais classificações de produtos cerâmicos.

**Tabela 3.4** Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha

<i>Regiões</i>	<b>Composição Granulométrica %</b>		
	<b>2 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>2 a 20 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>&gt;20 <math>\mu\text{m}</math></b>
<i>Materiais de Qualidade com dificuldade de produção</i>	40 a 50	20 a 40	20 a 30
<i>Telhas, capas</i>	30 a 40	20 a 50	20 a 40
<i>Tijolos furados</i>	20 a 30	20 a 55	20 a 50
<i>Tijolos maciços</i>	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: Pradicelli e Melchiades, 1997

A distribuição granulométrica do composto solo-argila que é utilizado na construção de produtos estruturais cerâmicos é uma das variáveis mais importantes na conformação e

estruturização da cerâmica. A plasticidade das partículas aumenta com a diminuição de seu tamanho, entretanto, excesso de partículas finas em uma massa cerâmica aumenta a necessidade de água, além de aumentar o grau de compactação da estrutura e dificultar a eliminação de água na etapa de secagem, causando retrações diferenciais e deformações estruturais na queima (PRADICELLI e MELCHIADES, 1997).

**Tabela 3.5** Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha

Classe	Descrição	Propriedade Classificadora
Cerâmica vermelha	Cerâmicas argilosas de porosidade média	Absorção de água entre 4-20%. Apresenta cor avermelhada devido à presença de ferro na composição
Grés	Cerâmica feita de uma única argila ou de uma mistura de argila com outros minerais (incluindo sílica) queimados para produzir produtos mais resistentes e duráveis	Absorção de água entre 0-5%. Apresenta coloração acinzentada devido à presença de ferro e a presença de minerais não argilosos
Porcelana	Porcelana rígida; Porcelana vítrea; Porcelana elétrica; Porcelana odontológica.	Os produtos podem ser compostos por quartzo e feldspato (componente que promove característica vítreas). Pode conter outros minerais para reforçar a resistência (como o óxido de alumínio)
Porcelana elétrica	Cerâmica esteatito; Cerâmica elétrica.	Cerâmica esteatito contém o mineral talco que reforça a performance do produto em aplicações elétricas de alta frequência. Cerâmicas elétricas geralmente são porcelanas de alto teor de óxido de alumínio.
Cerâmica tecnológica branca	Engloba diversas cerâmicas de baixa absorção de água para aplicação estrutural e química.	A composição é alterada para que inclua óxido de alumínio, zircão e outros minerais para se obter propriedades específicas.

Fonte: Kogel *et al.*, 2006

A etapa de queima é a responsável pela modificação química dos compostos, como calcinação, desidratação, decomposição e formação de novos compostos. A temperatura é a principal variável desse processo, pois as conversões químicas acontecem em temperaturas definidas (SHREVE e BRINK, 1997):

- Desidratação, ou “perda de água de cristalização”, entre 150 e 650°C.
- Decomposição de caulim em meta-caulim, próximo a 560°C
- Calcinação, por exemplo, do CaCO<sub>3</sub>, entre 600 e 900°C.
- Oxidação do ferro divalente e de matéria orgânica entre 350 e 900°C.
- Formação de silicato, a 900°C ou mais.

Materiais estruturais cerâmicos devem atender as normas reguladoras para serem comercializadas e utilizadas com segurança em construções. A tabela 3.6 contém uma compilação de parâmetros para blocos e tijolos maciços de cerâmica exigidos pelas normas brasileiras.

A substituição de matérias-primas na cerâmica é um dos tópicos mais estudados nessa área. Os principais objetivos são a melhoria dos parâmetros da cerâmica e a utilização da cerâmica como destinação econômica para resíduos.

Ferreira (2013) desenvolveu tijolos solo-cal com substituição da cal por finos da produção de artesanatos de pedra-sabão (esteatito). Foram confeccionados corpos de prova, utilizando traço 1:10 em proporção de 25, 50 e 75% em substituição à cal, para os períodos de cura de 28 e 60 dias. Os melhores resultados foram obtidos para substituições de 25% de cal por resíduo de esteatito em estrutura solo-cal e tempo de cura de 60 dias, a resistência à compressão simples foi de 2,2 MPa e a absorção de água foi de 19,32 %. Esses valores estão dentro da norma de resistência a compressão simples e absorção d'água dessa categoria de bloco estrutural.

**Tabela 3.6** Parâmetros para blocos e tijolos de cerâmica vermelha

<i>Produto</i>	<i>Parâmetro</i>		
	<i>Absorção de Água</i>	<i>Resistência à Compressão Simples</i>	<i>Norma Regente</i>
<i>Tijolo Maciço (Alvenaria)</i>	(Não especificado)	1,5 MPa - 4,0 MPa	NBR 7170 - ABNT (1983)
<i>Bloco Vedação</i>	8% < Abs. < 22%	1,5MPa - 3,0 Mpa	NBR 15270 -1 - ABNT (2005)
<i>Bloco Estrutural</i>	8% < Abs. < 22%	3,0 MPa	NBR 15270 -2 - ABNT (2005)

Panzer *et al.* (2010) utilizaram resíduos de esteatito da região de Congonhas-MG em substituição da argila (5%, 20% e 40%) na confecção de cerâmica. Os corpos de prova foram conformados a 6% de umidade em massa, prensados a 10 MPa e 30 MPa e queimados a 1200°C.

Os resultados mostraram que o aumento da substituição de argila por esteatito, de maneira geral, diminuiu a retração linear, aumentou a densidade aparente, diminuiu a porosidade aparente e aumentou a resistência mecânica dos corpos de prova.

Vieira e Monteiro (2006) incorporaram um resíduo oleoso da indústria petrolífera encapsulado em bentonita em estrutura cerâmica. Os testes foram realizados com incorporações de 0, 1, 3, 5 e 10% de resíduo oleoso em peso na construção de corpos de prova que foram prensados em a 20MPa e umidade de 8%, a queima foi realizada a 900°C. De maneira geral a adição do resíduo oleoso possibilitou a melhoria da densidade aparente a seco e de queima, reduzindo a absorção de água e aumento a resistência mecânica. Os autores justificam a melhoria da densidade aparente devido à ação lubrificante do material oleoso, que permitiu um melhor empacotamento das partículas.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Resíduo de Esteatito

O resíduo de esteatito utilizado foi proveniente de fábricas de artesanato de Santa Rita de Ouro Preto, distrito de Ouro Preto, Minas Gerais. O resíduo foi caracterizado por Rodrigues (2010) e Ferreira (2013), os valores dos parâmetros determinados estão apresentados na tabela 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.1** Composição química da amostra de resíduo de esteatito de Santa Rita de Ouro Preto-MG

Teor								
%					ppm			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	As	Cu	Mn	Pb
2,30	27,80	0,07	4,99	58,91	2,32	16,30	298	25,82

Fonte: Rodrigues (2010)

**Tabela 4.2** Características físicas e mineralógicas da amostra de resíduo de esteatito de Santa Rita de Ouro Preto-MG

Parâmetro	Fino de Esteatito
Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	3,430
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,960
Porosidade Intraparticular (%)	0,2
Umidade (%)	0,340
D <sub>80</sub> (μm)	719
PPC (%)	5,05
Composição Mineralógica	<b>Talco</b> (Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ); <b>Clorita</b> ((Mg,Al,Fe) <sub>12</sub> (Si, Al) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub> )

Fontes: Ferreira (2013) e Rodrigues (2010)

## 4.2. Solo para Confeção dos Corpos de Prova Cerâmicos

Os corpos de prova cerâmicos foram preparados com amostra de solo coletada em Morro de Caxambu a 8 km de Cachoeira do Campo – MG. A amostra de solo foi anteriormente caracterizada por Ferreira (2013). Nas tabelas 4.3 a 4.5 estão apresentados parâmetros de caracterização do solo.

**Tabela 4.3** Composição química da amostra de solo

Teor										
%									ppm	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	As	Zn
28,91	5,96	-	0,143	-	-	1,48	0,64	62,62	5,38	36,70

Fonte: Ferreira (2013)

**Tabela 4.4** Dados de caracterização das amostras de solo

Parâmetro	Amostra de Solo
Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	32,414
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,593
Porosidade Intraparticular (%)	1,6
Umidade (%)	12,530
D <sub>80</sub> (µm)	700
PPC (%)	12,05
Composição Mineralógica	<b>Quartzo</b> (SiO <sub>2</sub> ); <b>Caulinita</b> (SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> ); <b>Muscovita</b> (KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> )

Fonte: Ferreira, 2013

**Tabela 4.5** Composição granulométrica da amostra de solo

Composição Granulométrica %		
2 µm	2 a 20 µm	>20 µm
6,25	16,25	77,5

Fonte: Ferreira, 2013

Devido à não adequação da distribuição granulométrica da amostra de solo com a granulometria padrão de confecção de cerâmica vermelha (tabela 3.4) a amostra foi cominuída em moinho de bolas até que a composição ficasse dentro do padrão.

#### **4.3. Cominuição e Análise Granulométrica da Amostra de Solo**

A amostra de solo argiloso foi cominuída a seco no Laboratório de Materiais Cerâmicos do DEMIN/UFOP utilizando um moinho de bolas de porcelana durante 30 minutos com cerca de 750g de corpo moedor de 1 polegada e 250g de corpo moedor de 0,5 polegada e cerca de 1200g de amostra de solo. O produto da cominuição era então passada em peneira de abertura de 74 $\mu$ m. A porção retida na peneira voltava ao moinho por mais 30 minutos. O processo se repetiu até que cerca de 60% do total da amostra apresentasse granulometria inferior a 74 $\mu$ m.

A amostra cominuída foi sucessivamente homogeneizada e quarteada até a obtenção de cerca de 300g para caracterização granulométrica através de peneiramento a úmido. Foi utilizada a série Tyler de peneiras -300 a + 38  $\mu$ m. A porção passante na peneira de 38 $\mu$ m foi deixado em repouso para separar-se da fração líquida, secado, pesado e encaminhado ao Laboratório de Propriedades Interfaciais (DEMIN-UFOP) para análise granulométrica. Utilizou-se um granulômetro a *laser* Cilas 1064 e uma solução dispersante 0,1%(p/v) de hexametáfosfato de sódio.

#### **4.4. Análise termogravimétrica das amostras de solo argiloso e resíduo de Esteatito**

Amostras de resíduo de esteatito e solo argiloso foram pulverizadas no Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP. As amostras pulverizadas foram encaminhadas ao Laboratório de Espectroscopia Infravermelha e Análise Termogravimétrica (DEMIN-UFOP). Foi utilizado o equipamento TA Q50 (TA *Instruments*) para a análise termogravimétrica das amostras. O ensaio foi realizado a uma vazão de gás de 100mL/min (90mL para da amostra e 10mL para o resfriamento da amostra); iniciando-se a uma temperatura ambiente de 23°C e finalizando-se a 1000°C. A rampa de aquecimento foi de 10°C/min e a isoterma teve duração de 5min.



#### 4.5. Ensaios de Adsorção de Óleos em Resíduo de Esteatito

Os ensaios de adsorção seguiram o fluxograma apresentado de forma esquemática na figura 4.1.



Figura 4.1 Fluxograma dos ensaios de adsorção de óleo em resíduo de esteatito

##### 4.5.1. Sistema Óleo

A avaliação de adsorção de óleo no resíduo foi realizada através de uma metodologia adaptada de Cooper e Gausemel (1993) e Silveira (2005).

Uma peneira de 7cm de diâmetro, adaptada com malha de aço de  $38\mu m$  de abertura, foi utilizada como anteparo para o teste de adsorção de óleo diesel no resíduo de esteatito. Pesou-se 0,50g do resíduo que foi uniformemente distribuído sobre a malha de aço da peneira e mergulhado em cerca de 80ml de óleo diesel disposto em uma placa de petri.

O resíduo de esteatito permaneceu em contato com o óleo (em submersão total) pelo tempo determinado para aquele teste – 30s, 1min, 5min, 30min, 2h ou 24h. Ao final do tempo de contato o conjunto óleo/resíduo/peneira foi deixado em repouso sobre um béquer para que o escoamento pudesse ocorrer livremente sob os efeitos da gravidade. Após 30s o conjunto era pesado e retornado ao béquer para que o escoamento continuasse. As pesagens ocorrem

novamente nos tempos de 1min, 2min, 5min, 30min e 60min. Esse procedimento foi repetido em triplicada para cada um dos tempos de contato. Caso os resultados apresentassem desvio maior que 15% os testes eram repetidos. O desvio considerado se deve principalmente à baixa reprodutibilidade dos testes iniciais. Foram considerados entre 6 e 12 resultados de adsorção em cada condição que repetidamente apresentaram desvios entre 10% e 20% da adsorção média. O uso de material orgânico (óleo diesel) pode comprometer a reprodutibilidade de testes de adsorção (EPA-US, 2000). Além disso, o óleo diesel utilizado foi um óleo comercial que pode apresentar variação composicional, não sendo garantida sua homogeneidade. A norma ASTM 726 (2012) também considera válidos resultados de adsorção de óleo em material sorvente que apresentem desvios até 15%.

A capacidade de retenção de óleo pela peneira foi avaliada. A peneira adaptada com malha de aço era submergida em 80mL de óleo diesel por 15 minutos e depois deixada ao escoamento livre. O conjunto óleo/peneira foi pesado nos tempos de 30s, 1min, 2min, 5min, 30min e 60min.

O cálculo da adsorção foi realizado conforme a equação 4.1:

$$\text{Adsorção} = \frac{M-m}{0,5} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

M = massa do conjunto óleo/resíduo/peneira (g)

m = massa do conjunto óleo/peneira (g)

Adsorção ( $\frac{g}{g}$ )

#### 4.5.2. Sistema Óleo e Água

- Contato Estático

A capacidade de absorção de óleo diesel do resíduo de esteatito em um sistema bifásico óleo e água foi avaliada segundo uma adaptação das metodologias da norma ASTM 726 (2012) e de Cooper e Gausemel (1993).

Primeiramente foi avaliada a capacidade de sorção de água do resíduo de esteatito. Um cristalizador de 19cm de diâmetro foi enchido até a altura de 8cm com água e então distribuiu-se 10g de resíduo de esteatito sobre a superfície do líquido. Após 15 minutos de contato a amostra foi retirada com auxílio de uma peneira de 15cm de diâmetro adaptada com uma malha de aço de 53 $\mu$ m. O material foi pesado após 30 minutos de escoamento sob ação da gravidade.

Na segunda fase do teste uma camada de 8cm de água foi adicionada ao cristalizador de 19cm de diâmetro e, então, adicionou-se cuidadosamente óleo diesel até que o mesmo formasse uma camada de 2cm sobre a camada de água. A amostra adsorvida de água da fase anterior do teste foi distribuída sobre a camada de óleo e o contato foi mantido por 15 minutos. O material foi retirado com auxílio da peneira adaptada e o escoamento ocorreu por 30 minutos até que o conjunto foi pesado. A adsorção foi calculada segundo a equação 4.2.

$$\text{Adsorção} = \frac{M-m}{10} \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

M = massa do resíduo após contato com o sistema óleo-água (g);

m = massa do resíduo após contato com água(g);

Adsorção de óleo ( $\frac{g}{g}$ ).

- Contato Dinâmico

Visando avaliar a performance do resíduo de esteatito na remoção de óleo não emulsificado da superfície de água aplicou-se a metodologia ASTM F726 (2012). O material foi testado segundo os ensaios para a categoria de adsorventes do tipo II segundo esta norma, isto é, adsorventes particulados não consolidados.

A primeira etapa desse teste avaliou a capacidade de flutuação do material quando sofre agitação em contato com água. Distribuíram-se 10g do resíduo de esteatito à superfície de 2L de água contida em um recipiente com capacidade de 4L. O sistema foi, então, submetido à agitação constante de 150rpm com duração de 15 minutos. O sistema ficou em repouso por 2 minutos e observou-se a quantidade de massa do resíduo afundada. A amostra foi separada do líquido com ajuda de uma peneira de 15cm de diâmetro adaptada com uma malha de aço de 53 $\mu$ m de abertura. Após escoamento da água de 30s a amostra foi pesada.

Para o teste de adsorção de óleo em água no contato dinâmico 3ml de óleo foram adicionados a 2L de água e a amostra utilizada no teste de flutuação retornou ao recipiente contendo óleo e água e o sistema foi agitado por 15 minutos numa frequência de 150rpm. O sistema permaneceu em repouso por 2 minutos e foram feitas observações a respeito da quantidade de material que submergiu ao final do teste. A amostra de resíduo adsorvido de óleo foi retirada do recipiente com auxílio da peneira adaptada e pesada após um período de escoamento de 30s. Os testes foram realizados em triplicata e, havendo desvio maior que 15% o teste era refeito.

A quantificação do óleo adsorvido no contato dinâmico do resíduo com o óleo no sistema óleo/água foi calculada segundo a equação 4.3.

$$\text{Adsorção} = \frac{M-m}{10} \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

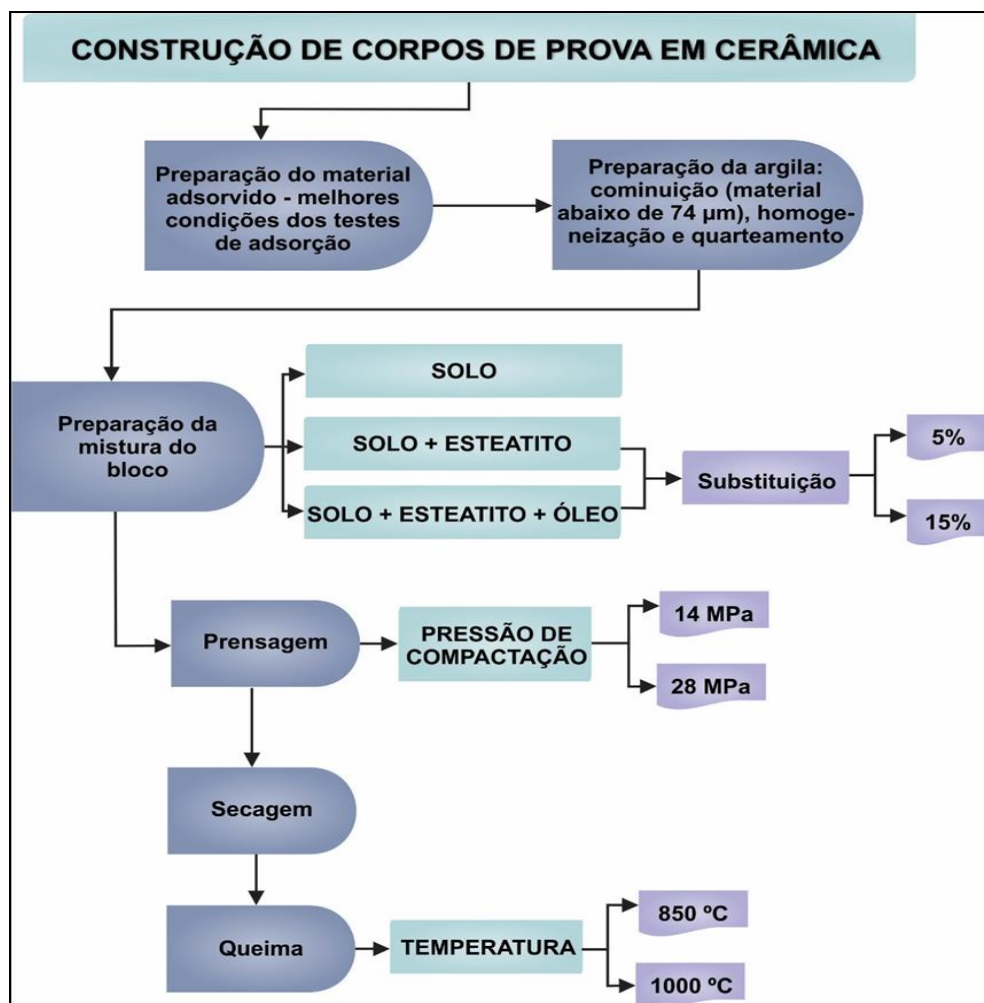
M = massa do resíduo após contato com o sistema óleo-água (g);

m = massa do resíduo após contato com água (g);

Adsorção de óleo ( $\frac{g}{g}$ ).

#### 4.6. Confeção dos Corpos-de-Prova Cerâmicos

Os corpos-de-prova foram confeccionados no Laboratório de Materiais Cerâmicos do DEMIN/UFOP. Na figura 4.2 está apresentado o fluxograma de confecção dos corpos-de-prova.



**Figura 4.1** Fluxograma da confecção dos corpos-de-prova solo, solo-resíduo de esteatito e solo-resíduo de esteatito com óleo diesel adsorvido.

A confecção dos corpos de prova (CP) se deu em uma matriz prismática metálica com dimensões de 7x2x1cm. Essas medidas foram utilizadas como base para o cálculo da massa que seria preparada para cada CP. As equações 4.4 e 4.5 demonstram os cálculos para determinação da massa inicial dos corpos-de-prova de cada mistura.

$$ME_{mistura} = \frac{(100-x)}{100} D + \frac{x}{100} d$$

**Equação 4.4**

$$M_i = 14. ME_{mistura}$$

**Equação 4.5**

Onde:

$ME_{mistura}$  = massa específica da composição “i”  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

D = massa específica do solo argiloso  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

d = massa específica do componente de substituição  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

$M_i$  = Massa inicial para conformação do corpo de prova “i” (g)

#### **4.6.1. Etapas da Confecção dos Corpos de Prova Cerâmicos**

- **Preparação das massas iniciais**

Para cada composição foram pesados os componentes numa balança de precisão Marte-AY220. A massa inicial era homogeneizada com auxílio de uma espátula de aço. A substituição máxima de argila por resíduo não ultrapassou 15%, pois, como definido pela Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica (2000) (apud Mendes, 2013), em blocos maciços cerâmicos o volume de argila cozida não é inferior a 85% do seu volume total aparente.

Uma vez que a massa inicial se encontrava homogeneizada realizava-se a aferição da umidade da mistura em uma balança analítica por infravermelho da marca Marte modelo ID200. A umidade para prensagem de argila é apontada pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (1986) (apud Paschoal, 2003) entre 5% e 15%, devendo ser controlada para evitar trincas, empenamentos e falhas no preenchimento de moldes. Aceitava-se, nesse estudo, as umidades naturais entre 8% e 10%. Caso a aferição apontasse valores fora dessa faixa a umidade era corrigida através de processos de secagem em estufa ou adição de água.

- **Prensagem**

Após homogeneização a massa era distribuída uniformemente dentro do molde prismático metálico. Para a confecção dos corpos-de-prova foi utilizada prensa hidráulica SOLOCAP – CI100. Para a confecção dos corpos-de-prova foi utilizada pressões de compactação de: 14MPa e 28MPa.

- **Secagem**

Após a prensagem os corpos de prova foram secados em estufa à temperatura de 65°C por 72h em uma estufa da marca Heraeus. O corpo era resfriado em dessecador por cerca de uma hora e pesado. Calculava-se a umidade residual após secagem, e não era aceito valor de umidade que ultrapassasse 2% (PASCHOAL, 2003). O CP era medido com paquímetro e pesado em balança de precisão para que se calculasse a retração linear de secagem (RLS) e a perda de água durante a secagem.

- **Queima**

Os corpos de prova que apresentavam umidade adequada após o processo de secagem eram encaminhados para a queima. O processo ocorria em duas temperaturas de queima a serem avaliadas: 850°C e 1000°C. Os corpos eram colocados no forno tipo mufla Linn Elektro Therm CC405 a temperatura ambiente. O aquecimento do forno se dava a uma taxa de 5°C/min e uma vez atingida a temperatura de interesse o forno permanecia ligado por mais 2 horas em temperatura constante. Ao final da queima o forno era desligado e, quando atingia a temperatura ambiente, os corpos de prova eram retirados, pesados e medidos com paquímetro a fim de calcular a perda de massa durante a queima bem como a retração linear de queima (RLQ) dos CP's.

#### **4.6.2. Ensaios tecnológicos para cerâmica**

Os corpos de prova foram analisados de maneira a atender as principais normas técnicas brasileiras a respeito de cerâmica vermelha (estrutural e vedação).

- **Retração Linear de Secagem (RLS)**

Para o cálculo da RLS são medidos os comprimentos dos corpos de prova antes e após a secagem. A equação 4.6 apresenta o cálculo da retração linear de secagem.

$$RLS = \frac{L_i - L_f}{L_i} 100 \quad \text{Equação 4.6}$$

Onde:

RLS = retração linear de secagem (%)  
 $L_i$  = comprimento inicial do corpo de prova (cm)  
 $L_f$  = comprimento final do corpo de prova (cm)

- **Retração Linear de Queima (RLQ)**

Para o cálculo da RLQ são medidos os comprimentos dos corpos de prova antes e após a queima. A equação 4.7 apresenta os cálculos utilizados para determinas a retração linear de queima.

$$RLQ = \frac{L'_i - L'_f}{L'_i} 100 \quad \text{Equação 4.7}$$

Onde:

RLQ = retração linear de queima (%)  
 $L'_i$  = comprimento inicial do corpo de prova (cm)  
 $L'_f$  = comprimento final do corpo de prova (cm)

- **Massa Específica Após Queima (MEQ)**

A massa específica do corpo de prova após a queima foi definida como a razão entre a massa do corpo de prova após a queima e seu volume após a queima. A equação 4.8 apresenta o cálculo realizado para definição da massa específica após queima dos CP's.

$$MEQ = \frac{M_q}{V_q} \quad \text{Equação 4.8}$$

Onde:

MEQ = massa específica após queima ( $\frac{g}{cm^3}$ )  
 $M_q$  = massa do corpo de prova após a queima (g)  
 $V_q$  = volume do CP após queima ( $cm^3$ )

- **Absorção de Água (AA)**

A absorção de água dos CP's foi realizada em triplicata. O teste consistia em pesar o CP queimado após secagem em estufa por cerca de 24 horas em estufa a 65°C. Em uma panela de alumínio com o fundo recoberto por bolas de vidro maciço aproximadamente 4L de água era levado à fervura. Os CP's eram colocados na panela com água fervente por 3 horas. Ao final da fervura cada CP tinha sua superfície secada por um papel toalha e logo depois era pesado. A absorção de água foi calculada segundo a equação 4.9.

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} 100 \quad \text{Equação 4.9}$$

AA = absorção de água  
 Mu = massa do corpo de prova úmido  
 Ms = massa do corpo de prova seco

- **Resistência à Compressão**

A resistência à compressão dos corpos de prova foi avaliada em prensa hidráulica de compressão SOLOCAP CI 100 toneladas. A amostra era colocada no centro da placa de compressão da prensa e a mesma era abaixada até que tocasse o corpo de prova. A prensa era então ligada e a evolução das pressões de compressão eram observadas. A pressão que causava a ruptura era anotada.

- **MEV**

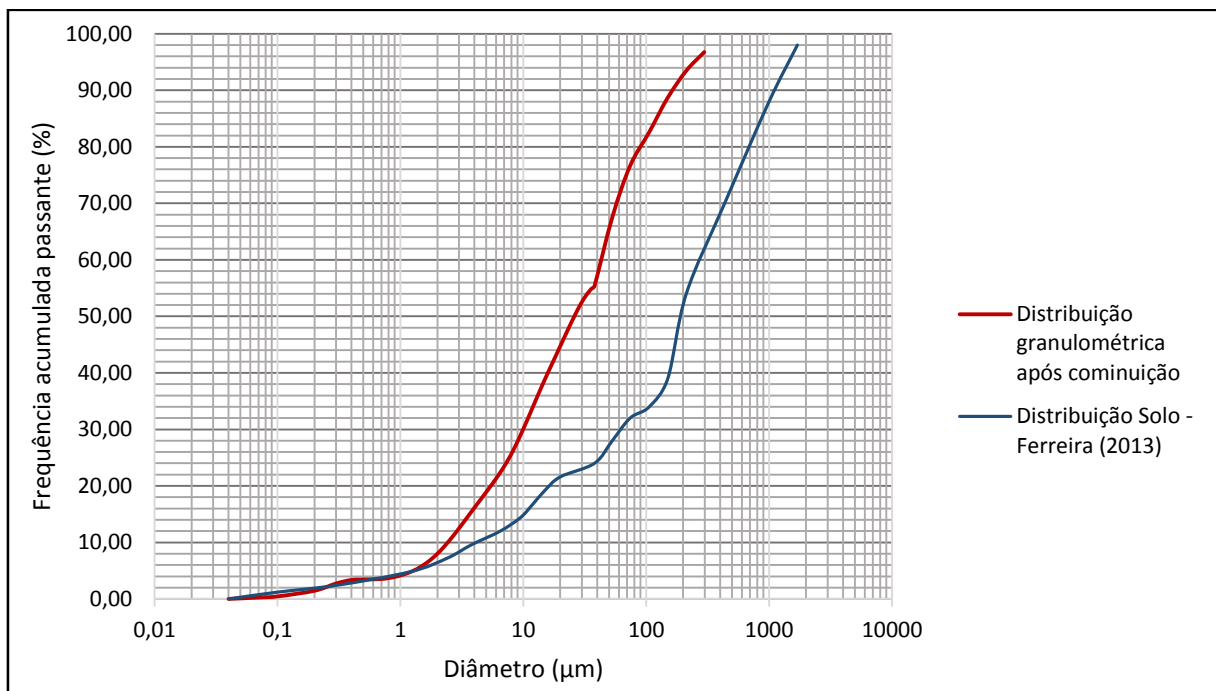
O elevado poder de magnificação do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) permitiu caracterizar as morfologias das composições que apresentaram os melhores valores dos parâmetros de qualidade dos corpos de prova cerâmicos. A análise foi feita em um microscópio eletrônico de varredura Joel modelo JSM-6010L. As amostras foram preparadas por meio de embutimento em resina acrílica de fragmentos dos corpos cerâmicos seguida de lixamento e metalização das superfícies das pastilhas preparadas. A partilha formada seguia para estufa e então adicionava-se camada de ouro com finalidade condutora.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização Granulométrica do Solo

O solo argiloso utilizado na fabricação dos corpos de prova cerâmicos foi previamente caracterizado quanto à sua distribuição granulométrica por Ferreira (2013), entretanto, devido à não adequação da mesma para utilização em cerâmica vermelha, de acordo com Pradicelli e Melchiades (1997), o solo foi cominuído para atender a tais especificações. Na figura 5.1 está apresentada a curva granulométrica do solo após o processo de cominuição. A curva de distribuição granulométrica inicial do material, elaborada por Ferreira (2013) está apresentada na figura 5.1 para fins comparativos.



**Figura 5.1** Distribuição granulométrica do solo argiloso após a moagem

Como pode ser observado na figura 5.1, a distribuição granulométrica do solo, após a moagem, apresentou um  $d_{80}$  de  $90,7\mu\text{m}$  e a fração menor que  $38\mu\text{m}$  representou  $55,4\%$  da amostra. Pradicelli e Melchiades (1997) apontam que tijolos maciços cerâmicos devem apresentar uma composição granulométrica em que os componentes abaixo de  $2\mu\text{m}$  representem entre  $15\%$  e  $20\%$  da massa do produto, os componentes de granulometria maior que  $2\mu\text{m}$  e menor que  $20\mu\text{m}$  representem entre  $20\%$  e  $55\%$  da massa do tijolo, e os componentes de granulometria maior que  $20\mu\text{m}$  representem entre  $25\%$  e  $55\%$  da massa do produto.

O processo de cominuição da argila diminuiu a porcentagem de componentes maiores que  $20\mu\text{m}$  de 77,5% para 55,3%. Antes da cominuição 16,3% do solo argiloso era composto por partículas de granulometria entre  $2\mu\text{m}$  e  $20\mu\text{m}$ , após a cominuição 36,7% do material se encontrava dentro desta faixa granulométrica. Essas duas faixas granulométricas encontram-se dentro do padrão de granulometria esperado para tijolos maciços, entretanto, os componentes de granulometria abaixo de  $2\mu\text{m}$  representam 8% do total da massa, valor inferior à quantidade de 15% esperada em tijolos maciços.

O principal problema relacionado à baixa quantidade de componentes menores que  $2\mu\text{m}$  é a baixa plasticidade da massa cerâmica. O material apresentava índice de plasticidade de 17,3% e 6,25% de seus constituintes apresentavam granulometria abaixo de  $2\mu\text{m}$  (FERREIRA, 2013). Considerando essas propriedades o processo de cominuição foi encerrado. Em geral o processo de cominuição envolve um grande gasto energético se tornando um processo economicamente custoso e, como o enfoque deste trabalho é o reaproveitamento de resíduos, o ideal é que não se aumente o custo de preparação das matérias-primas.

## **5.2. Análise Termogravimétrica da Amostra de Solo e de Finos de Esteatito**

A figura 5.2 apresenta o comportamento termogravimétrico do solo argiloso utilizado na confecção dos corpos de prova cerâmicos. As análises apresentadas nesta seção apoiaram-se nas composições químicas e mineralógicas das amostras de solo e pedra-sabão realizadas por Ferreira (2013) e Rodrigues (2010), apresentadas previamente nas tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

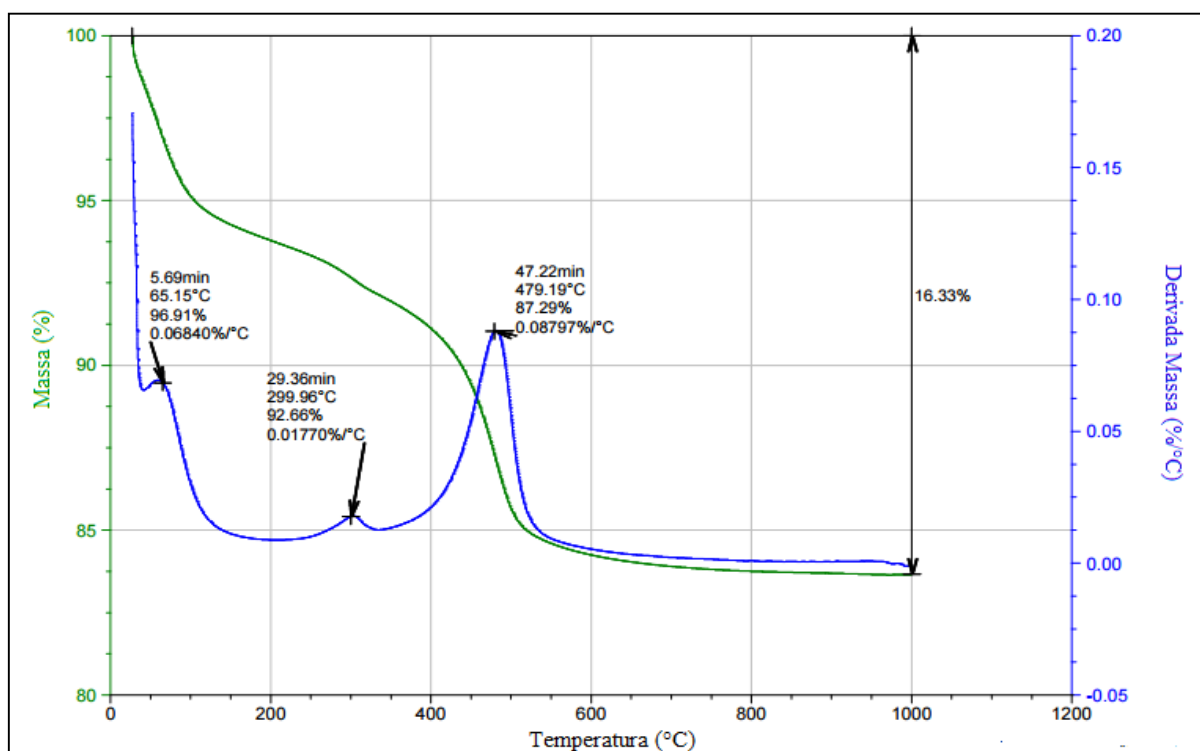
Percebe-se uma perda de massa de aproximadamente 3,1% que se inicia a cerca de  $30^{\circ}\text{C}$  e se estende até a faixa de  $100^{\circ}\text{C}$ . A derivada da massa, apresentada no eixo vertical à direita do gráfico, aponta que o pico da perda de massa nessa faixa ocorre a  $65^{\circ}\text{C}$ . Acchar (2006) aponta que até  $120^{\circ}\text{C}$  há perda de água distribuída nos materiais argilosos.

A perda de massa no intervalo de  $100^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$  é próxima de 5% e pode referir-se à perda de água zeolítica; isto é, à água que ocupa espaços entre a rede cristalina, não fazendo parte da mesma. Acchar (2006) aponta que a perda de água zeolítica ocorre à temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$ . Esse trecho de perda de massa, com pico à temperatura de  $299,96^{\circ}\text{C}$ , pode representar também a perda de matéria orgânica presente no solo argiloso.

À temperatura de  $400^{\circ}\text{C}$  inicia-se uma acentuada perda de massa, com pico aos  $479,19^{\circ}\text{C}$ , que se estende até à faixa de  $600^{\circ}\text{C}$ . Essa perda de massa refere-se provavelmente à desidroxilação da caulinita. Carvalho e colaboradores (2014) aponta que a caulinita sofre

desidroxilação em reação endotérmica que se inicia em 480°C e termina em 600°C. Esse processo é responsável pela perda de 5,37% da massa da amostra.

Entre 600°C e 1000°C a amostra apresenta uma contínua perda de massa, menos acentuada. A muscovita, presente na amostra, sabidamente sofre desidroxilação simples na faixa de 820°C a 920°C (FÖLDVÁRI, 2011). A perda de massa de 4,42% nesse trecho pode estar relacionada a esse processo.



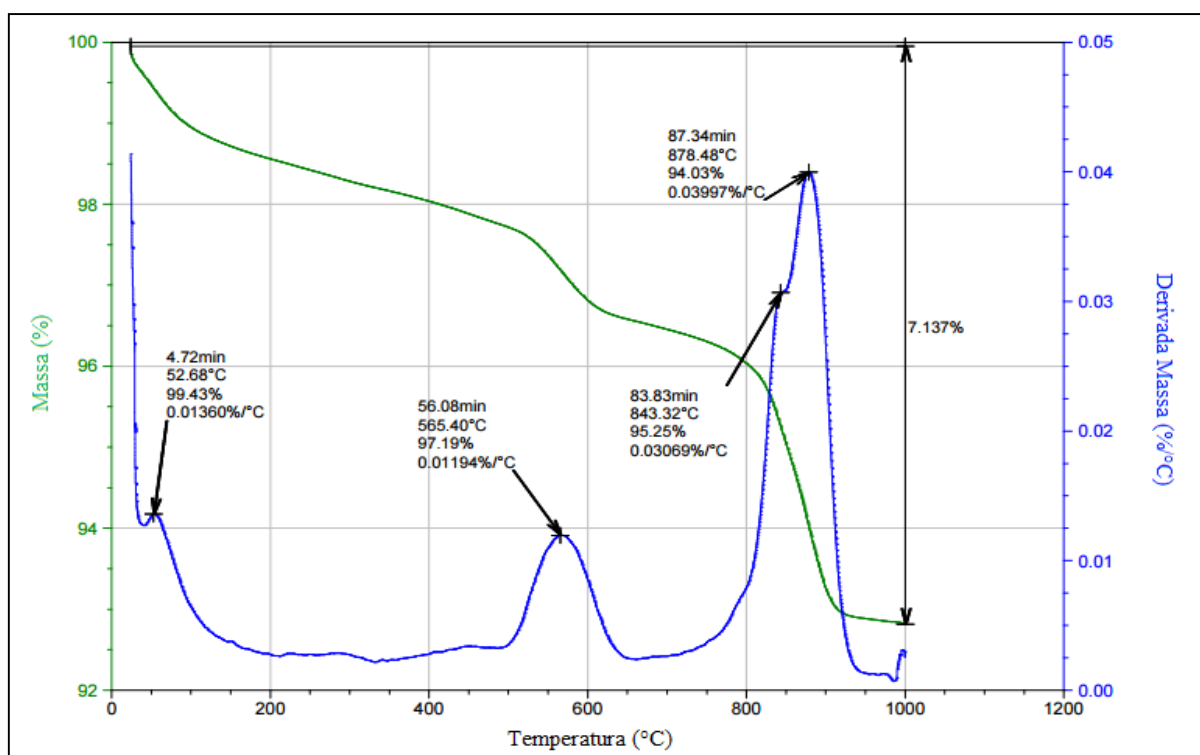
**Figura 5.2** Curva termogravimétrica e diferencial da massa de solo argiloso

Processos térmicos que não apresentam perda de massa são foram nessa análise pois só podem ser analisados através de curvas termodiferenciais. É sabido, entretanto, que a transformação de quartzo- $\alpha$  em quartzo- $\beta$  que acontece à temperatura de 573°C (ACCHAR, 2006). Essa informação é importante para o entendimento do comportamento da amostra do solo ao fogo.

A figura 5.3 apresenta o comportamento termogravimétrico do resíduo de esteatito utilizados na confecção dos corpos de prova. Uma perda massa inicial de 0,57% é observada entre cerca de 30°C e 100°C, apresentando pico a 52,68°C. Essa perda está relacionada à água distribuída no resíduo de esteatito.

Entre 100°C e 500°C a amostra perde cerca de 2% de massa. Essa perda provavelmente relaciona-se à água encontrada em espaços entre a estrutura cristalina dos minerais talco, clorita, principais constituintes da amostra de esteatito, como apontado por Acchar (2006).

Segundo Földvári (2011) a desidroxilação da clorita ocorre em diferentes faixas de temperatura a depender da constituição principal da clorita. Cloritas com predominância de alumínio em sua constituição, por exemplo, apresentam desidroxilação entre 500°C e 530°C. Quando há predominância de ferro na estrutura da clorita o processo de desidroxilação acontece na faixa de 520°C e 580°C. A temperatura de desidroxilação varia para grupos das cloritas de relações Mg-Fe específica, quando essa relação é de 1:1 a temperatura de desidroxilação é entre 720°C e 780°C (FÖLDEVÁRI, 2011). Uma segunda perda de massa, correspondente a 2,24% da massa inicial, acontece no intervalo entre 500°C e 600°C com pico em 565,4°C, conforme mostra a diferencial da massa, e, provavelmente, relaciona-se com a desidroxilação da clorita presente no esteatito.



**Figura 5.3** Curva termogravimétrica e diferencial da massa de resíduo de esteatito

Entre 600°C e 800°C observa-se uma perda contínua de massa de cerca de 1% da massa inicial. Uma perda de massa de cerca de 3% da massa inicial ocorre entre 800°C e 900°C com dois picos evidentes, um a 843,32°C, que provavelmente relaciona-se à transformação de fase da clorita que se transforma em olivina espinélio ou enstatita; e outro a 878,48°C que se

relaciona com a desidroxilação do talco (FÖLDVÁRI, 2011). Hlaváč (1983) aponta que entre 700°C e 900°C a desidroxilação do talco associa-se à transformação do mesmo em enstatita, com sistema cristalino ortorrômbico. O autor aponta ainda que o aquecimento entre 900°C e 1100°C pode provocar a transformação de enstatita em protoenstatita também de sistema cristalino ortorrômbico, porém de menor coeficiente de expansão que a enstatita.

### 5.3. Ensaios de Adsorção

#### 5.3.1. Sistema óleo

Foi avaliada a influência do tempo de contato da amostra com o óleo diesel, o comportamento do escoamento do óleo da amostra e os efeitos da calcinação da amostra de esteatito sobre a adsorção. A tabela 5.1 apresenta a massa de óleo diesel adsorvida em 1,00g de resíduo de esteatito para diferentes tempos de contato e escoamento do óleo.

**Tabela 5.1** Quantidade de óleo diesel adsorvido em função do tempo para o resíduo de esteatito

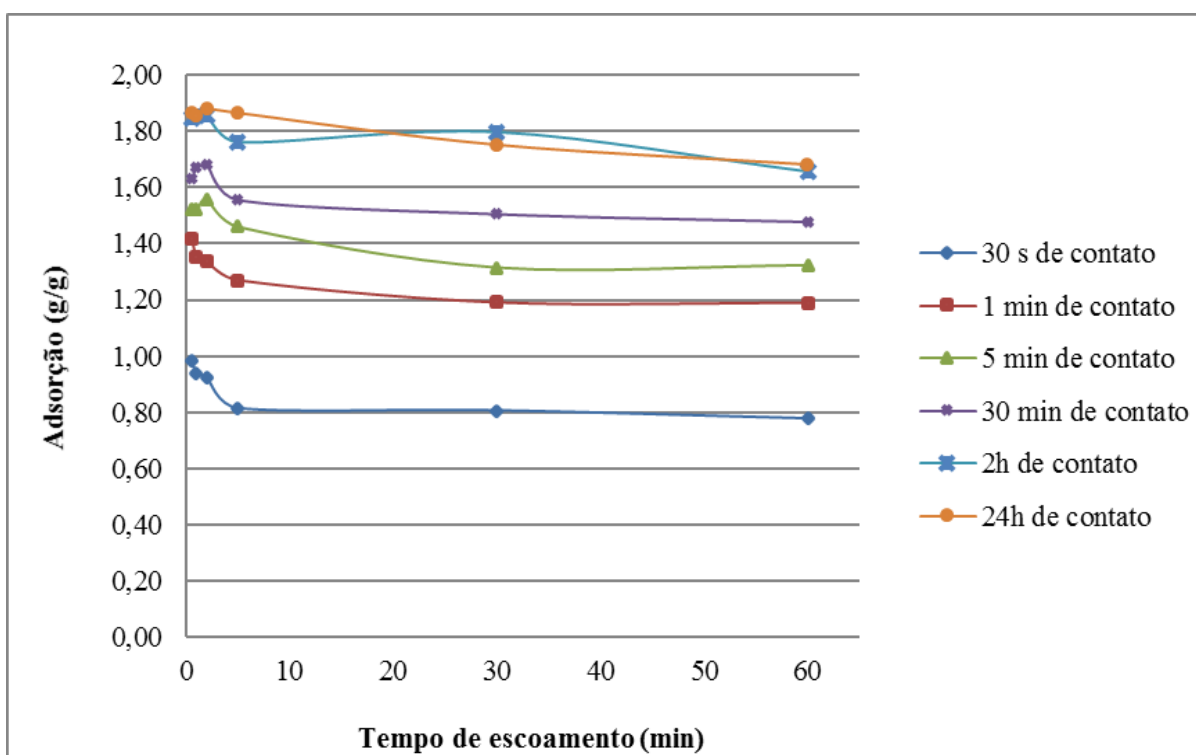
Tempo de Contato (min)	Óleo Diesel Adsorvido (g/g)					
	Tempo de Escoamento (min)					
	0,5	1	2	5	30	60
0,5	0,9851	0,9385	0,9232	0,8132	0,8051	0,7759
1	1,4167	1,3525	1,3350	1,2698	1,1908	1,1894
5	1,5206	1,5203	1,5588	1,4607	1,3137	1,3224
30	1,6312	1,6701	1,6813	1,5555	1,5046	1,4768
120	1,8456	1,8581	1,8544	1,7618	1,7969	1,6585
1440	1,8687	1,8546	1,8794	1,8640	1,7506	1,6803

Observa-se, pela tabela 5.1, que o aumento do tempo de contato implicou em um aumento significativo de óleo diesel adsorvido. A adsorção para o contato de 1 minuto é, em média, 48,3% maior que aquela observada nas amostras que ficaram em contato com o óleo por 30s. A taxa de adsorção diminuiu nos tempos de contato seguintes. As amostras que ficaram em contato por 5 minutos apresentam uma adsorção em média 12,2% maior que as que ficaram

em contato por 1 minuto. O contato de 30 minutos implicou em uma adsorção em média 9,6% maior que aquelas em contato por 5 minutos e as amostras em contato por 120 minutos mostraram resultados, em média, 19% maiores que aquelas em contato por 30 minutos.

Os resultados da adsorção do contato de 24h mostraram que após as duas horas de contato houve uma estabilização da adsorção. As adsorções das amostras em contato por 24h com o óleo foram, em média, 1,2% maiores que aquelas em contato com óleo por 120 minutos. Esse pequeno aumento não é significativo o bastante para se inferir sobre o comportamento da adsorção. Provavelmente o que ocorre é uma estabilização da adsorção e erros operacionais podem ter levado ao pequeno aumento nessa faixa de tempo de contato.

A figura 5.4 apresenta o gráfico de adsorção por tempo de escoamento para os diferentes tempos de contato facilitando a visualização das relações de aumento de adsorção bem como a dinâmica do escoamento do óleo no decorrer do tempo.



**Figura 5.4** Adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito em diferentes tempos de contato e escoamento

O escoamento do óleo em contato com o resíduo, de maneira geral, estabiliza-se após 5 minutos. A partir desse tempo de contato não há grande variação na relação de adsorção, indicando que não ocorre mais escoamento. O escoamento, como esperado, é mais evidente nos primeiros segundos de repouso do conjunto óleo/resíduo/peneira, quando ocorre a liberação de óleo em excesso não adsorvido.

Há trabalhos utilizando outros materiais como adsorventes de óleo diesel, como exemplo e para comparação com os resultados obtidos neste trabalho, é possível citar Frost e colaboradores (2007) que avaliaram a adsorção de óleo diesel seguindo uma adaptação da norma ASTM-F726-99 para diferentes materiais entre eles areia, zeólita, bentonita e montmorilonita. As adsorções de óleo diesel para esses materiais foram avaliadas em sistemas que continham apenas o óleo diesel e o material adsorvente em teste; o tempo de contato dos materiais com o óleo foi de 15 minutos e o escoamento ocorreu por 30s antes da pesagem. As taxas de adsorção encontradas foram: areia – 0,2g/g; zeólita – 0,6g/g; bentonita (hidrofobizada) – entre 3,1g/g e 3,5g/g; e montmorilonita (hidrofobizada) – entre 1,2g/g e 7,2g/g.

Uma amostra do resíduo de esteatito foi calcinada por 120 minutos a 1000°C. A tabela 5.2 apresenta a massa de óleo adsorvida em 1,00g de resíduo de esteatito para diferentes tempos de contato e escoamento do óleo.

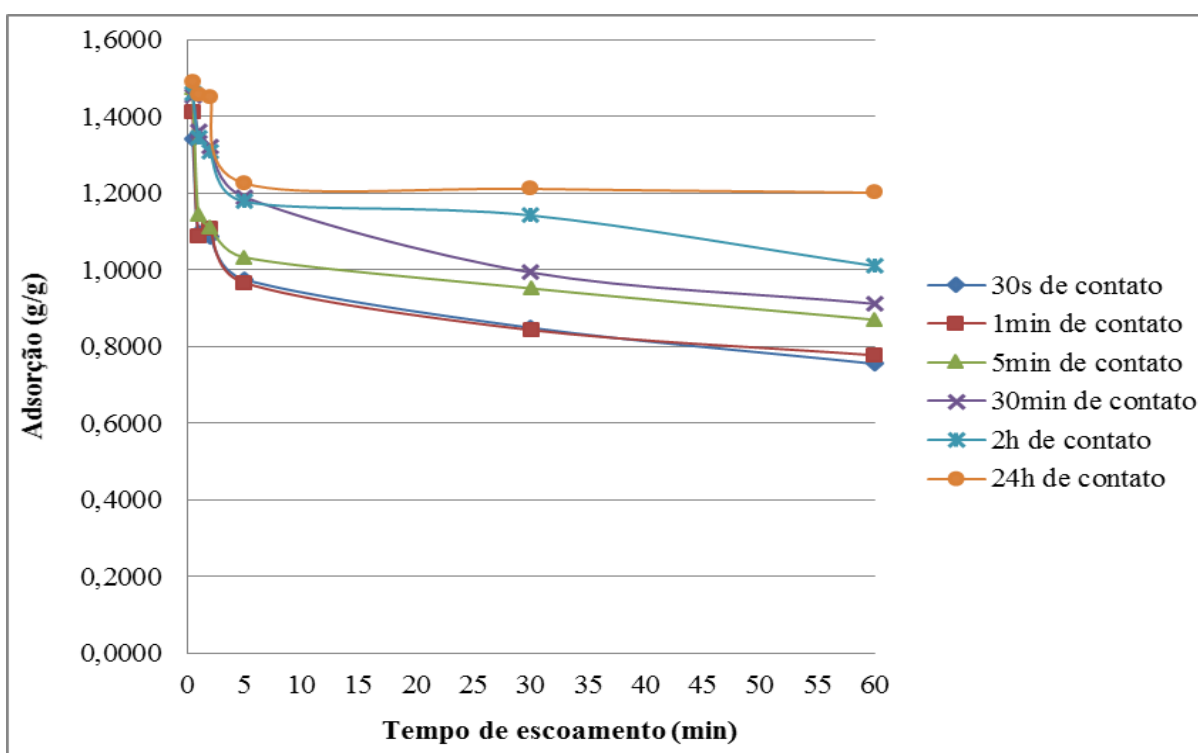
**Tabela 5.2** Quantidade de óleo diesel adsorvido em função do tempo para o resíduo de esteatito calcinado

Tempo de Contato (min)	Óleo Diesel Adsorvido (g/g)					
	Tempo de Escoamento (min)					
	0,5	1	2	5	30	60
0,5	1,3399	1,0950	1,0864	0,9747	0,8484	0,7545
1	1,4107	1,0891	1,1080	0,9657	0,8426	0,7767
5	1,4745	1,1447	1,1121	1,0321	0,9511	0,8692
30	1,4534	1,3594	1,3225	1,1897	0,9926	0,9110
120	1,3941	1,2790	1,2422	1,1110	1,0748	0,9830
1440	1,4878	1,4559	1,4509	1,2252	1,2107	1,2005

Para as amostras de esteatito calcinadas o aumento do tempo de contato não provocou aumento significativo da quantidade de óleo adsorvido. O aumento do tempo de contato de 30s para 1min provocou um aumento médio de 1,3% na quantidade de óleo adsorvida. As amostras em contato com o óleo por 30 minutos apresentaram uma adsorção 10,1% maior que as amostras em contato com o óleo por 5 minutos. As amostras em contato por 120 minutos apresentaram, em média, uma adsorção 3,9% maior que as amostras em contato com o óleo por 30min. Houve uma elevação na taxa de adsorção média de 8,3% entre o contato de duas horas

e o contato de 24h. A figura 5.5 apresenta o gráfico de adsorção de óleo no resíduo de esteatito calcinado em relação ao tempo de escoamento.

Para as amostras de resíduo de esteatito calcinadas o escoamento do óleo não apresentou estabilização notável; isto é, houve redução da massa de óleo no sistema óleo/resíduo/ peneira crescente até o tempo de repouso de uma hora. O aumento da adsorção é mais evidente quando o tempo de contato das amostras com o óleo aumentou de 30 minutos para 120 minutos.



**Figura 5.5** Adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito calcinado em diferentes tempos de contato e escoamento

A figura 5.6 apresenta o gráfico da cinética de adsorção de óleo nas amostras de resíduo esteatito e resíduo de esteatito calcinado. Para cada uma das amostras é mostrada a adsorção medida nos tempos de escoamento de 5 minutos, 30 minutos e 60 minutos.

A calcinação do resíduo de esteatito provocou diminuição de sua capacidade de adsorção de óleo. A condição na qual a amostra de esteatito apresentou maior adsorção foi a de 30 minutos de contato e 5 minutos de escoamento, na qual a adsorção foi de aproximadamente 1,2 g/g.. Nessa mesma condição de contato e escoamento a amostra de esteatito não calcinada apresentou uma adsorção média de 1,5g/g, mostrando-se cerca de 25% mais eficiente que o esteatito calcinada na adsorção de óleo diesel. Santos e Yada (1988) apontam que o talco se



transforma em enstatita ortorrômbica a temperaturas maiores que 900°C e essa enstatita se dispõe em três direções na estrutura do material e que poros não são observados nas imagens de microscópio de elétrons transmitidos após a transformação de talco em enstatita. A diminuição de porosidade causada pela transformação de talco em enstatita pode ser responsabilizada pela diminuição da adsorção de óleo diesel na amostra de esteatito calcinado.

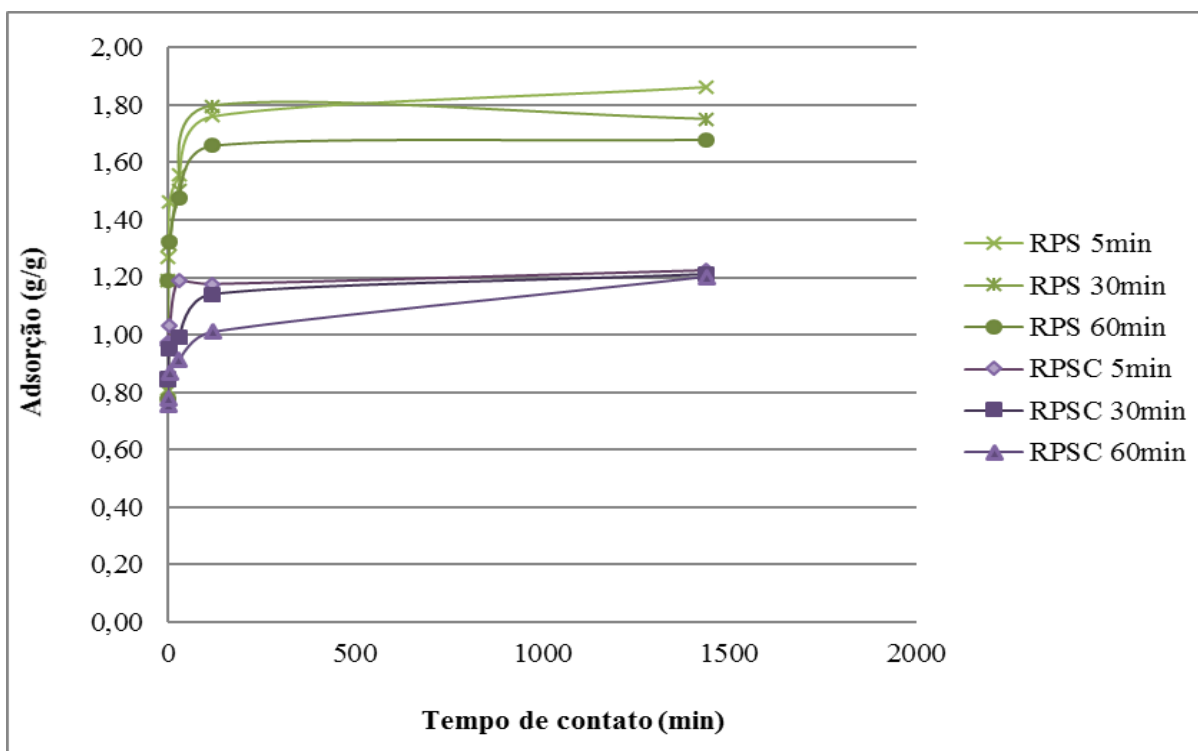


Figura 5.6 Cinética de adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito e resíduo de esteatito calcinado

### 5.3.2. Sistema óleo-água – contato estático

A capacidade de absorção de óleo diesel do resíduo de esteatito em um sistema bifásico óleo e água foi avaliada. No primeiro momento avaliou-se a capacidade de absorção de água pelo resíduo, conforme metodologia sugerida por Cooper e Gausemel (1993), em que o material fica em contato com água por 15 minutos. Essa metodologia não define o tempo de escoamento de água, que foi definido com base nos testes de absorção no sistema óleo, nos quais o escoamento estabiliza-se após 30 minutos de repouso do conjunto amostra/óleo. Para 15 minutos de contato do resíduo com água e 30 minutos de escoamento a capacidade de absorção de água média foi de 0,822g/g.

A massa de resíduo usada no teste de absorção de água, ainda encharcada de água, foi adicionada ao sistema óleo/água e retirado com auxílio de uma peneira. O contato foi de 15

minutos e a massa foi pesada após 30 minutos de repouso. A adsorção de óleo média nesse sistema foi de 0,407g/g, uma adsorção significativamente menos eficiente que a adsorção no sistema óleo, que em 5 minutos de contato e 30 minutos de escoamento foi de aproximadamente 1,3g/g.

### **5.3.3. Sistema óleo-água – contato dinâmico**

A avaliação da adsorção de óleo por resíduo de esteatito foi feita conforme a norma ASTM-F726-12 considerando o resíduo como adsorvente do tipo II (material particulado não-consolidado). A norma exige que um adsorvente passe no teste de boiância, ou seja, não mais 10% afunde quando agitado por 15 minutos em um recipiente contendo 2L de água.

O resíduo de esteatito quando submetido à avaliação de boiância da norma provou-se não adequado para adsorção de óleo em água uma vez que mais que 80% do material afundou após agitação de 150 ciclos por minuto e amplitude de 2,5cm após 15 minutos de teste. Considerando a falha inicial o teste seguinte de adsorção no sistema óleo-água em contato dinâmico não foi realizado pois o adsorvente afunda antes que possa ter contato suficiente com o óleo na superfície da água.

Os testes de adsorção em água, tanto para o contato estático quanto para o dinâmico, provaram que o resíduo de esteatito não é um bom adsorvente para aplicação em ambientes aquáticos. Entretanto, dado os resultados apresentados na seção anterior que mostram a adsorção apenas na presença de óleo diesel o resíduo de esteatito poderia ser utilizado na adsorção de derramamentos de óleo em solo.

## **5.4. Ensaios para Avaliação dos Corpos-de-Prova Cerâmicos**

### **5.4.1. Retração Linear de Secagem (RLS)**

A tabela 5.3 apresenta o comportamento da retração linear de secagem dos corpos de prova (CP's) nas composições solo argiloso puro (S), solo argiloso com substituição de 5% do volume por resíduo de esteatito (SPS5), solo com substituição de 15% de resíduo (SPS15), solo com substituição de 5% de resíduo adsorvido de óleo diesel (SPSO5) e solo com substituição de 15% de resíduo adsorvido de óleo diesel (SPS15).

Observa-se que para todas as composições e pressões de compactação testadas a retração linear de secagem foi negativa indicando um processo de expansão dos CP's durante a secagem. Segundo Melchtiades e colaboradores (2001) a expansão durante a secagem ocorre apenas quando o teor de umidade da massa cerâmica é muito baixo e a peça continua a apresentar expansão de extração de maneira lenta e gradual.

**Tabela 5.3** Retração Linear de Secagem

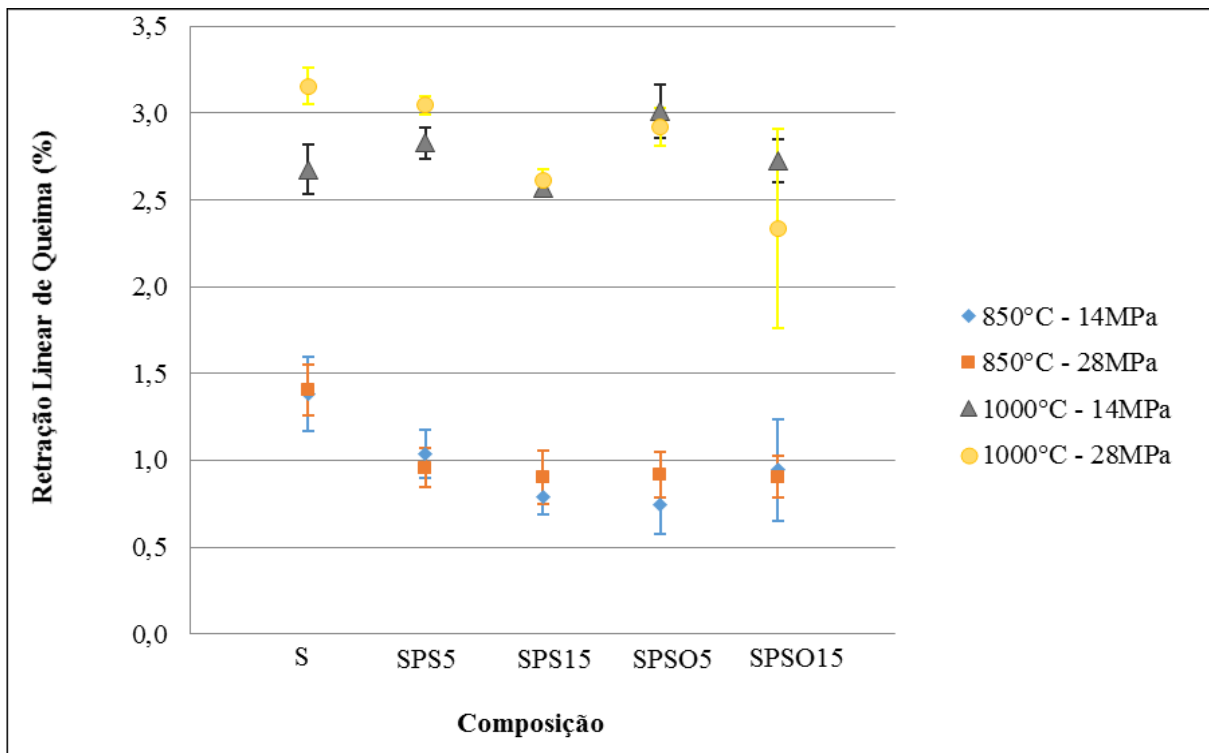
COMPOSIÇÃO	PRESSÃO DE COMPACTAÇÃO (MPa)	RETRAÇÃO LINEAR DE SECAGEM (%)	DESVIO PADRÃO
S	14	-0,22	0,09
	28	-0,21	0,09
SPS5	14	-0,28	0,08
	28	-0,25	0,09
SPS15	14	-0,23	0,09
	28	-0,17	0,09
SPSO5	14	-0,10	0,07
	28	-0,16	0,12
SPSO15	14	-0,16	0,12
	28	-0,19	0,17

A expansão de todos os corpos foi menor que 1% e, portanto, não são tão relevantes na determinação das dimensões finais dos CP's.

#### 5.4.2. Retração Linear de Queima (RLQ)

A figura 5.7 apresenta a retração linear de queima dos corpos de diferentes composições. São apresentados os dados nas diferentes condições de temperatura de queima e pressão de conformação dos CP's.

O aumento da temperatura de queima levou ao aumento da retração linear de queima. Isso pode indicar que a 850°C os componentes dos CP's não passam por sinterização completa e deste modo as partículas não se unem em um contato mais íntimo e não reduzem a porosidade, não aumentando a retração. Os corpos de prova com maior quantidade de solo argiloso, que se funde nas temperaturas de queima estudadas, apresentaram, de modo geral, maiores valores de retração linear de queima. Foi observada a tendência de diminuição da retração linear de queima com o aumento da incorporação dos resíduos de esteatito, pois a presença de talco e quartzo diminuem a contração.



**Figura 5.7** Retração Linear de Queima dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido (SPSO) com diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.

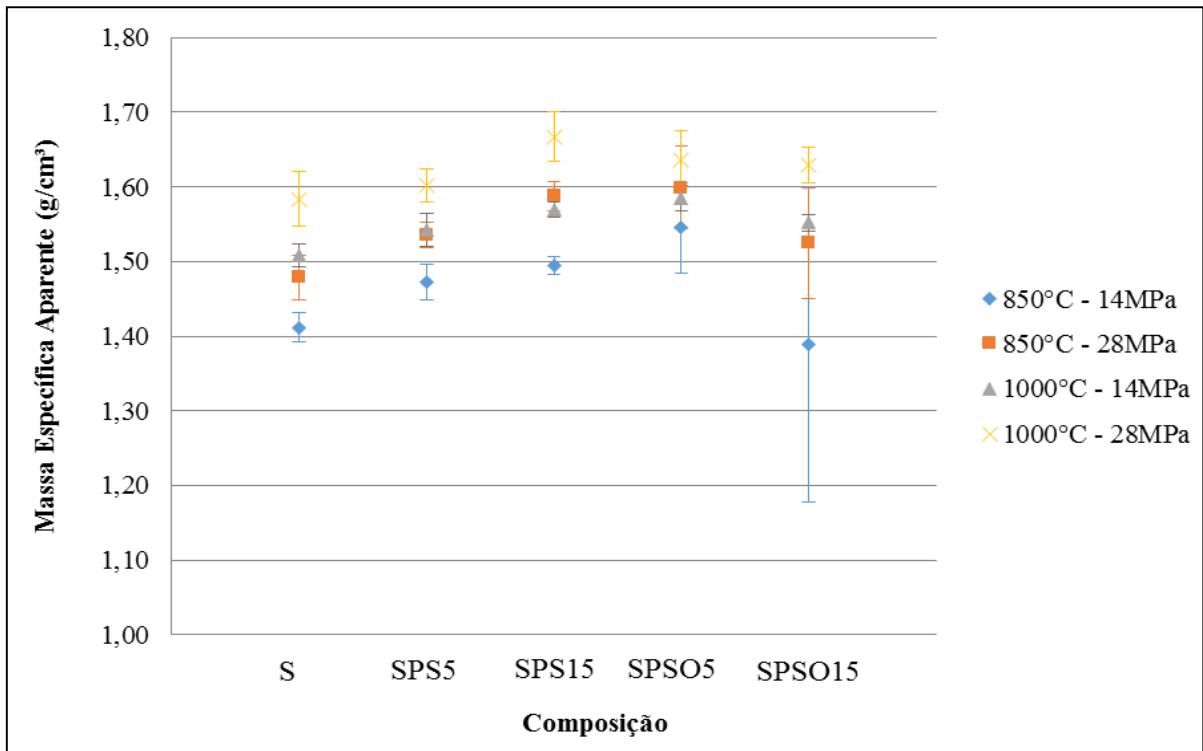
Santos (1989) aponta os valores limites de RLQ para cerâmicas vermelhas. Telhas devem apresentar RL menor ou igual a 5%, tijolos furados devem apresentar RL menor ou igual a 6% e tijolos de alvenaria não apresentam limitação quanto à RLQ. Os valores de RLQ apresentados em todas as composições, pressão de compactação e temperaturas de queimas mostraram-se satisfatórias para os três tipos de cerâmica vermelha. A menor RLQ, 0,74%, foi apresentada pelos CP's com substituição de argila em 5% pela mistura de óleo diesel e resíduo de esteatito conformados a 14MPa e queimados a 850°C.

#### 5.4.3. Massa Específica Após Queima (MEQ)

A figura 5.8 apresenta as massas específicas aparentes dos CP's nas diferentes composições, temperaturas de queima e pressões de conformação.

Observa-se que a pressão de compactação exerceu influencia importante na densificação e aumento da massa específica dos CP's uma vez que os corpos conformados a 28MPa apresentaram as maiores massas específicas. Segundo Melchades e colaboradores (2001) a densificação das massas cerâmicas ocorre devido ao fechamento ou até mesmo

eliminação de poros durante o processo de queima. A maior pressão de compactação parece contribuir na agregação de partículas proporcionando maior contato, levando ao aumento de densidade de forma a se obter uma melhor ligação e, portanto, menor contração como pode ser observado na Figura 5.7.



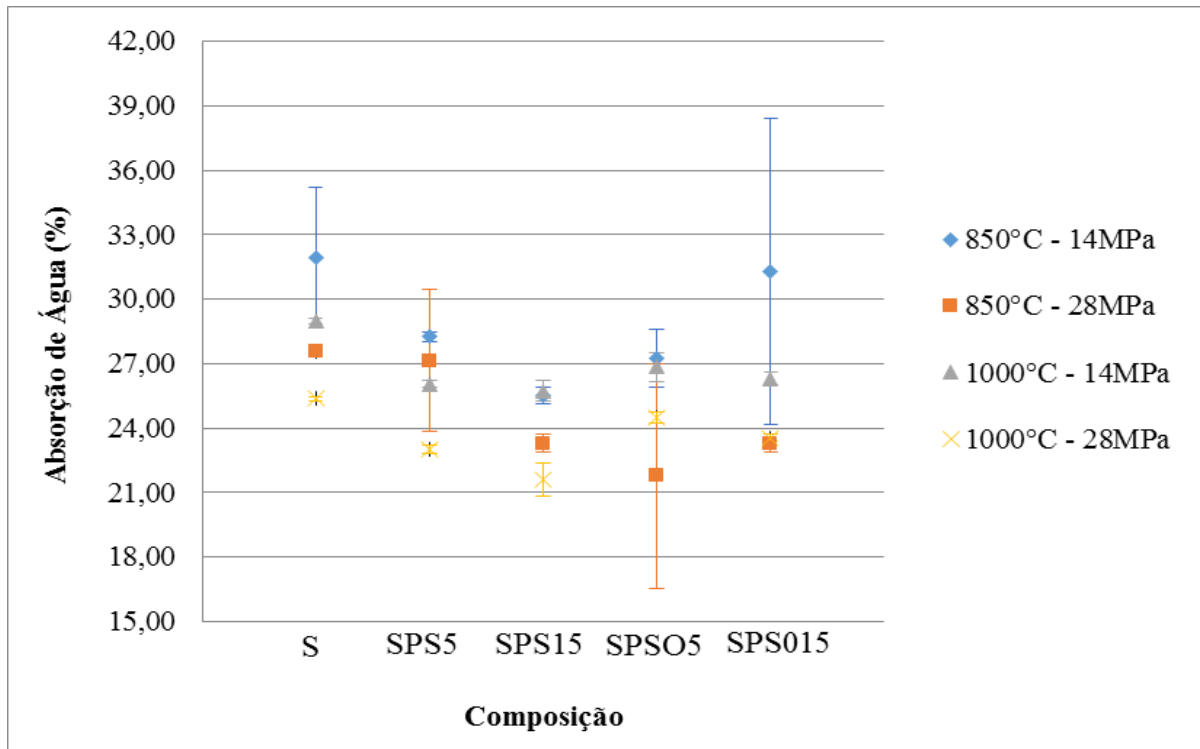
**Figura 5.8** Massa Específica Após Queima (MEQ) dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido (SPOS) após diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.

A maior MEQ foi observada nos corpos compostos por solo argiloso e esteatito na substituição de 15% conformados a 28MPa e queimados a 1000°C. A MEQ média desses corpos foi de 1,7g/cm<sup>3</sup>. De maneira geral o aumento na substituição de solo argiloso por esteatito ou esteatito adsorvido de óleo diesel provocou um aumento da massa específica aparente dos corpos.

A densificação não apresentou relação direta com a RLQ como era esperado. Melchiades e colaboradores (2001) apontam que a porosidade aparente de um corpo cerâmico pode diminuir (aumentando a densificação) sem que haja retração nas dimensões do mesmo.

#### 5.4.4. Absorção de Água (AA)

A figura 5.9 apresenta a absorção de água dos corpos em diferentes composições, pressões de conformação e temperaturas de queima.



**Figura 5.9** Absorção de água dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido (SPOS) após diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.

Os maiores valores de absorção de água para cada composição ocorreram na condição de temperatura de queima de 850°C e pressão de conformação de 14MPa. Tal comportamento aponta que a pressão de conformação de 14MPa provoca um baixo grau de compactação da massa, aumentando a porosidade. Na temperatura de 850°C parece não haver formação de fase líquida suficiente para o preenchimento de interstícios levando a aproximação das partículas.

Analisando a influência composicional dos CP's pode-se observar uma maior absorção de água dos corpos compostos apenas pelo solo argiloso.

De maneira geral a substituição de solo argiloso por esteatito em 15% produziu peças com menor índice de absorção de água. Esse fato pode estar relacionado a uma melhor compactação da peça devido a uma distribuição granulométrica mais heterogênea, composta por partículas de diferentes graus de arredondamento e tamanhos bem como pode relacionar-se à formação de enstatita, que se forma a partir da decomposição de talco que ocorre entre 700°C

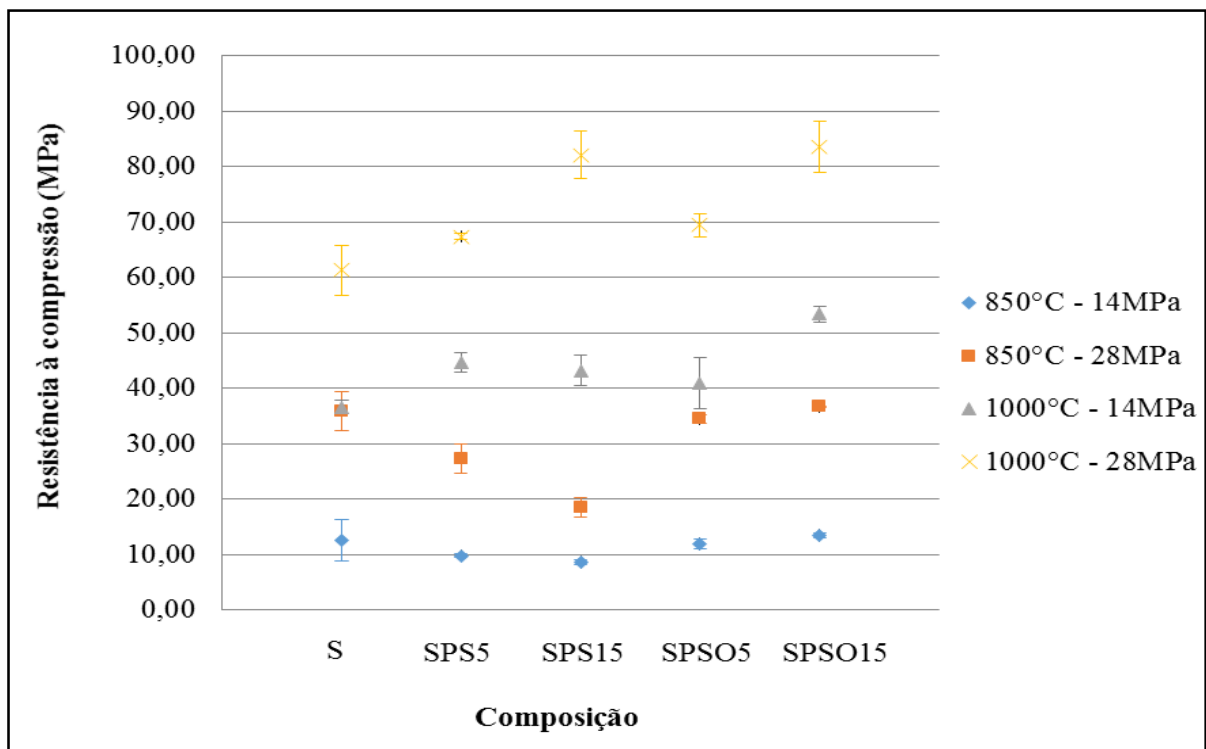
e 900°C (ACCHAR, 2006). A formação da nova fase mineralógica ocorre de maneira a preencher os espaços entre grãos, diminuindo a porosidade.

Os menores índices de absorção de água, em geral, foram observados nos corpos queimados a 1000°C e conformados a 28MPa. A maior pressão de compactação inicial pode causar diminuição de espaços vazios na peça cerâmica. A maior temperatura pode ser responsável pela transformação completa de talco e clorita em enstatita.

Os resultados de absorção de água são coerentes com os resultados de massa específica aparente, ou seja, os menores valores de absorção de água foram coincidentes com os maiores valores de massa específica. É esperado que o aumento da massa específica aparente acompanhe a diminuição de poros do corpo de prova, e a diminuição de poros dificulta a absorção de água pela peça.

#### 5.4.5. Resistência à Compressão

A figura 5.10 apresenta as resistências à compressão simples dos CP's em diferentes composições nas diferentes condições de temperatura e pressão de conformação inicial.



**Figura 5.10** Resistências à compressão simples dos corpos de prova cerâmicos compostos por solo (S), por solo-resíduos de esteatito (SPS) e por solo-resíduo de esteatito com óleo adsorvido em diferentes pressões de compactação, porcentagem de substituições e temperatura de queima.

A resistência à compressão aumenta diretamente com o aumento da temperatura e com o aumento da pressão de conformação dos corpos. A composição exerce influência na resistência à compressão de maneira que o aumento da substituição por finos de esteatito provoca aumento da resistência a compressão simples.

De maneira geral, as condições que produziram CP's de maior resistência foram as condições em que os CP's apresentaram maior massa específica aparente e menos absorção de água, revelando que a diminuição da porosidade provoca aumento da resistência à compressão.

O maior valor de resistência à compressão, cerca de 84MPa, foi apresentado pelos CP's compostos pela substituição de solo por 15% da mistura óleo diesel e resíduo de esteatito conformado a 28MPa e queimado a 1000°C. O segundo maior valor de resistência, em torno de 82MPa, foi apresentado pelos CP's com 15% de substituição por resíduo de esteatito conformados a pressão de 28MPa e queimados a 1000°C.

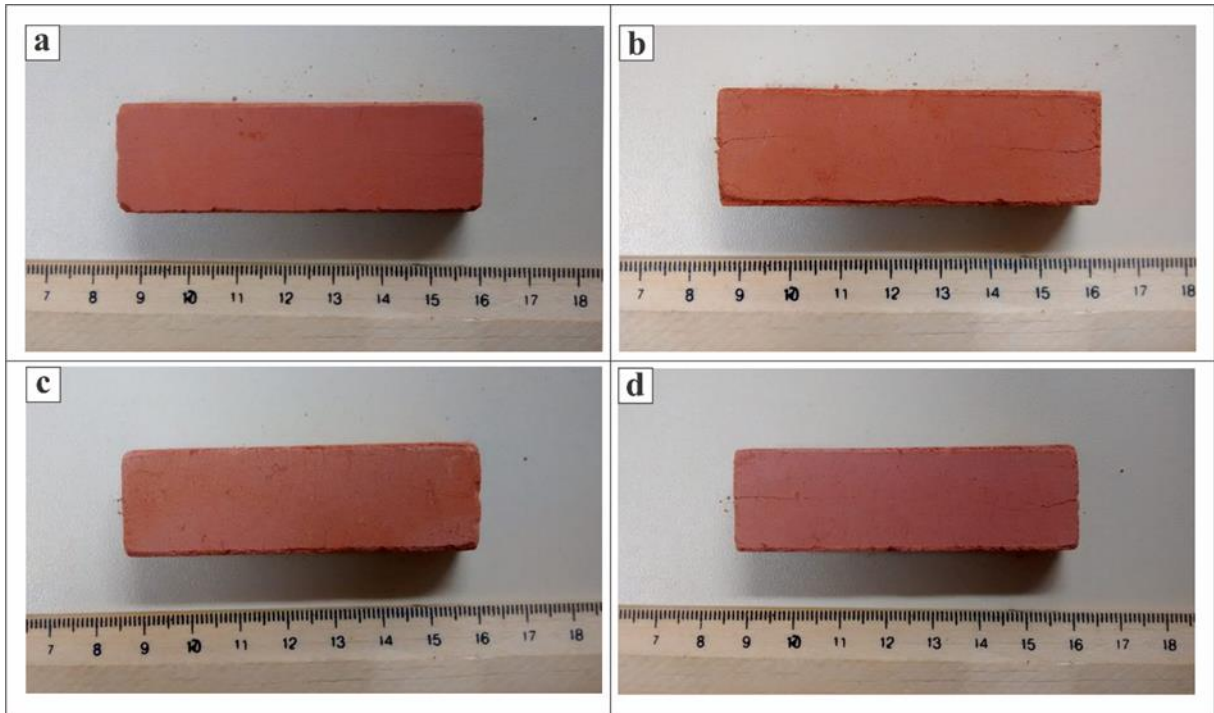
Os valores de resistência a compressão para os CP's de composição SPS15 e SPSO15 estão dentro de uma mesma ordem de grandeza, o que indica, que a adição do óleo e conseqüentemente uma diminuição de esteatito não levou a uma porosidade muito maior após a queima que poderia promover um prejuízo significativo a resistência a compressão desta composição. Isto porque, a resistência mecânica de um material relaciona-se inversamente com a sua porosidade, isto é, maior resistência é obtida quando há baixa porosidade (LU *et al.*, 1999)

Todos as condições testadas produziram corpos de prova com resistência muito superior aos valores de resistência estabelecidos pelas normas brasileiras NBR7170, NBR15270-1 e NBR 15270-2.

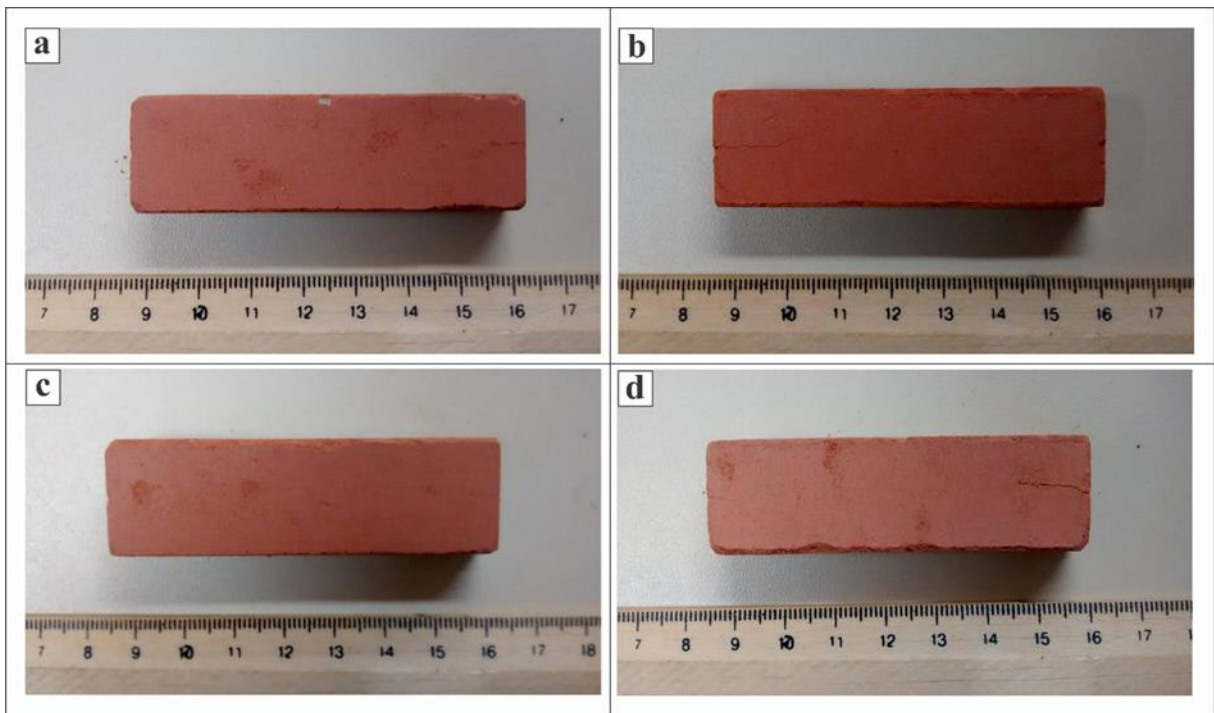
#### **5.4.6. Cor**

A cor é um parâmetro importante para cerâmicas vermelhas, principalmente para utilização em revestimentos. Entretanto, a avaliação de tal parâmetro é subjetiva e, portanto, não há classificação específica para tal. A figura 5.11 apresenta os corpos de prova compostos apenas por solo argiloso; a figura 5.12 apresenta os CP's da composição solo argiloso e resíduo de esteatito na substituição de 5%; a figura 5.13 apresenta os CP's compostos por argila e resíduo de esteatito na substituição de 15% e as figuras 5.14 e 5.15 apresentam os CP's compostos por argila, resíduo de esteatito e óleo diesel nas substituições de 5% e 15% respectivamente.

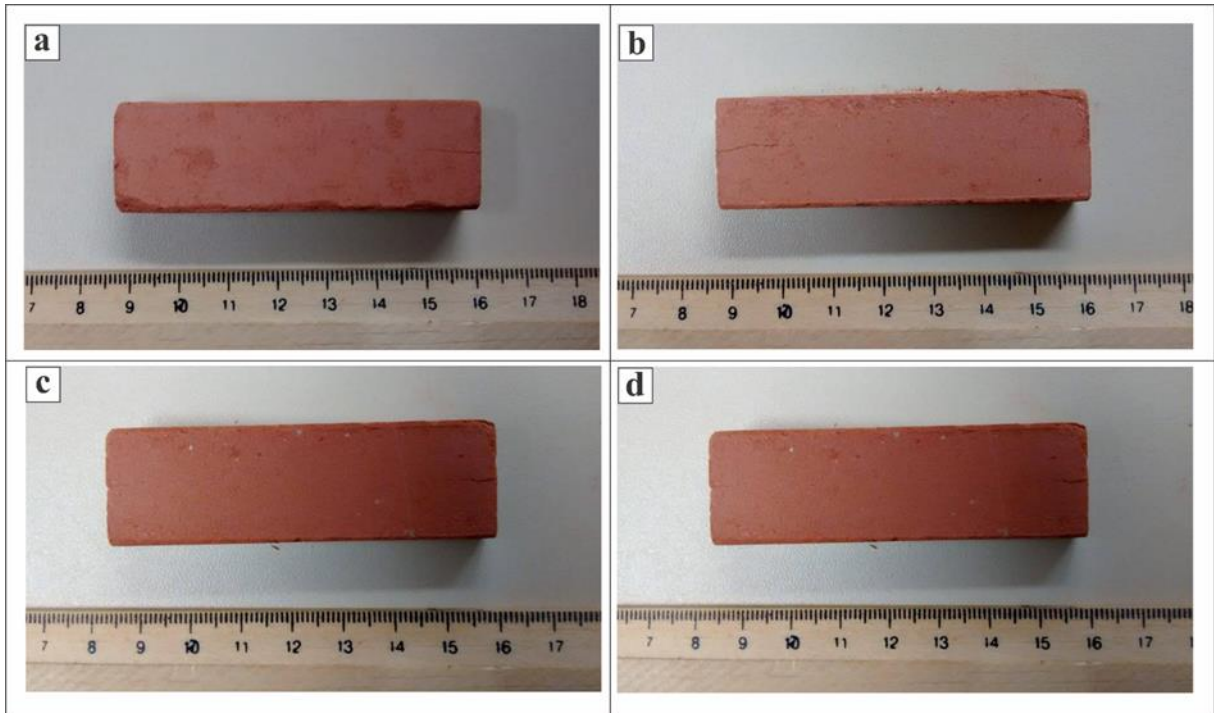




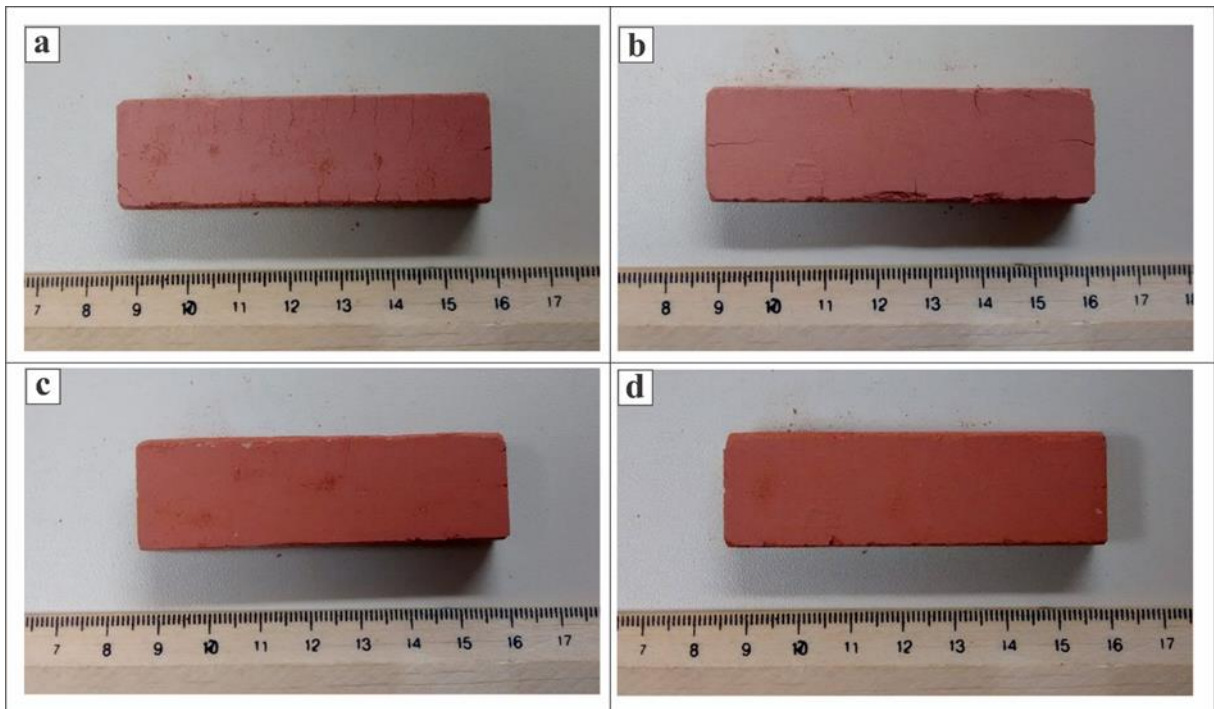
**Figura 5.11** Corpos de prova compostos por solo argiloso. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.



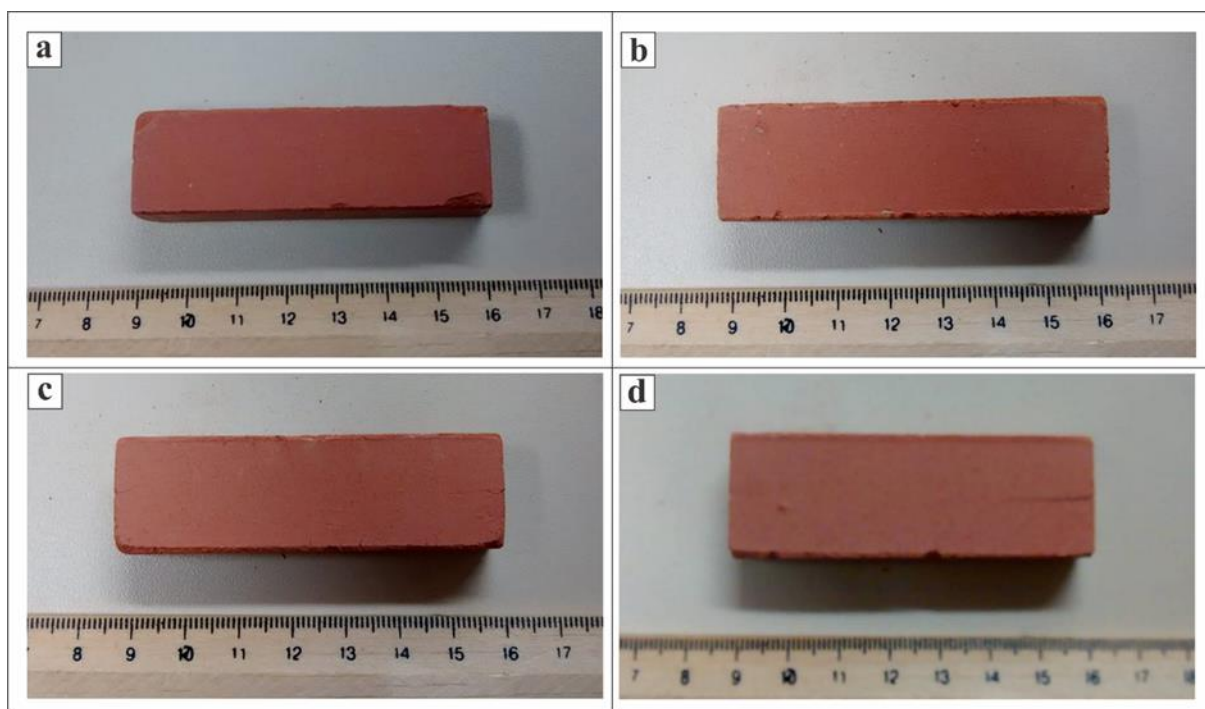
**Figura 5.12** Corpos de prova compostos por solo argiloso e resíduo de esteatito 5% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.



**Figura 5.13** Corpos de prova compostos por solo argiloso e resíduo de esteatito 15% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.



**Figura 5.14** Corpos de prova compostos por solo argiloso, resíduo de esteatito e óleo diesel com 5% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.



**Figura 5.15** Corpos de prova compostos por solo argiloso, resíduo de esteatito e óleo diesel com 15% de substituição. Na sequência as pressões de compactação e temperaturas de queima: a) 14MPa, 850°C; b) 28MPa, 850°C; c) 14MPa, 1000°C e d) 28MPa, 1000°C.

Todas as condições de confecção dos corpos de prova resultaram em corpos marrom-avermelhados de cor em geral uniforme. Os corpos com substituição de argila por esteatito em 15% apresentaram alguns pontos brancos resultantes de uma má homogeneização do esteatito que tende a se aglomerar com o aumento da umidade.

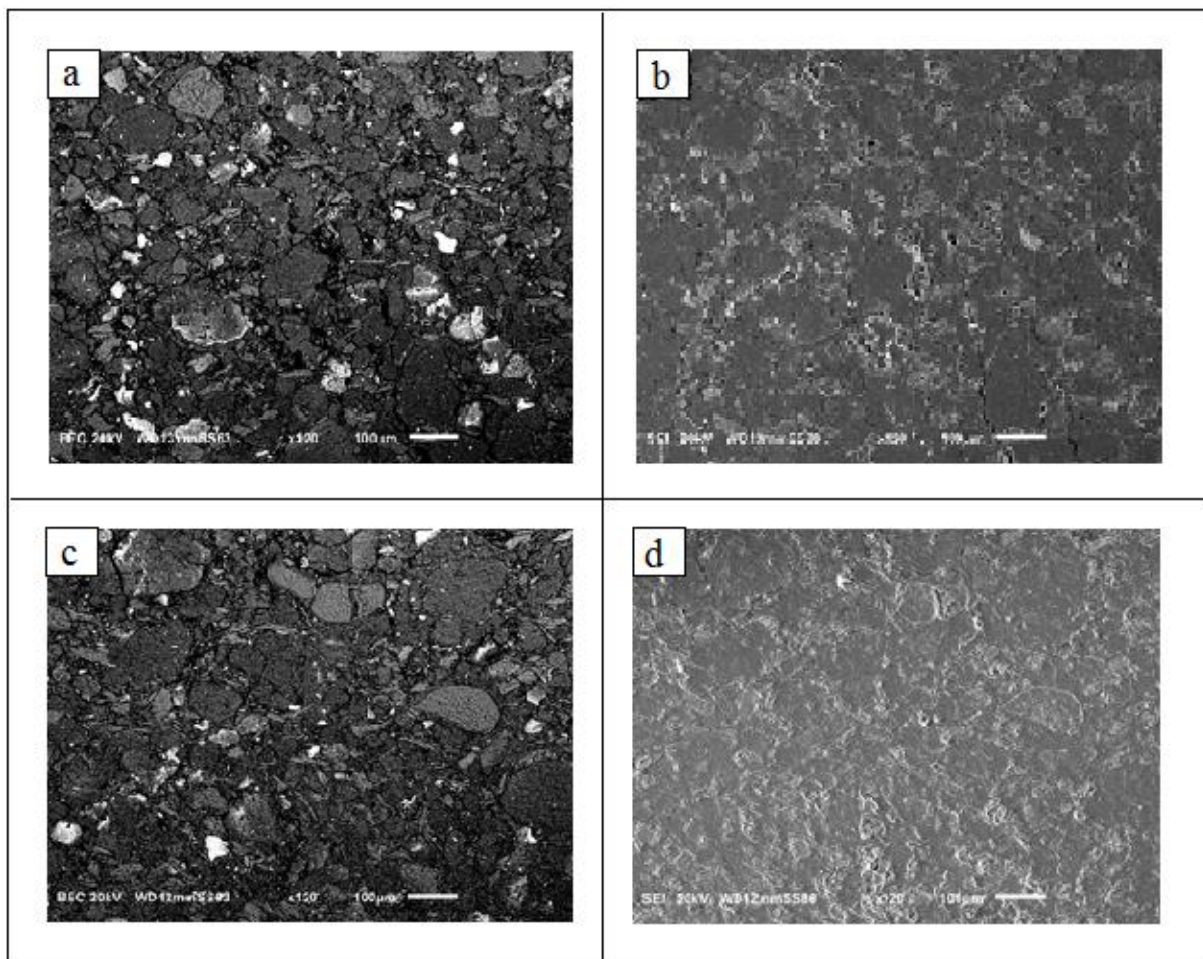
#### 5.4.7. MEV

As imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV) dos corpos de prova com substituição de 15% de esteatito (SPS15) e com substituição de 15% de esteatito adsorvida de óleo (SPSO15) foram realizadas a fim de analisar características microestruturais que possam ter reflexo no comportamento macroscópico das amostras nos testes anteriores. Para as duas composições foram analisados os corpos compactados a 28MPa e queimados a 1000°C.

A figura 5.16 apresenta as imagens dos corpos de prova SPS15 e SPSO15. A coluna da esquerda (figuras “a” e “c”) são imagens feitas por elétrons retroespalhados, e a coluna da direita (figuras “b” e “d”) trata de imagens feitas por elétrons secundários.

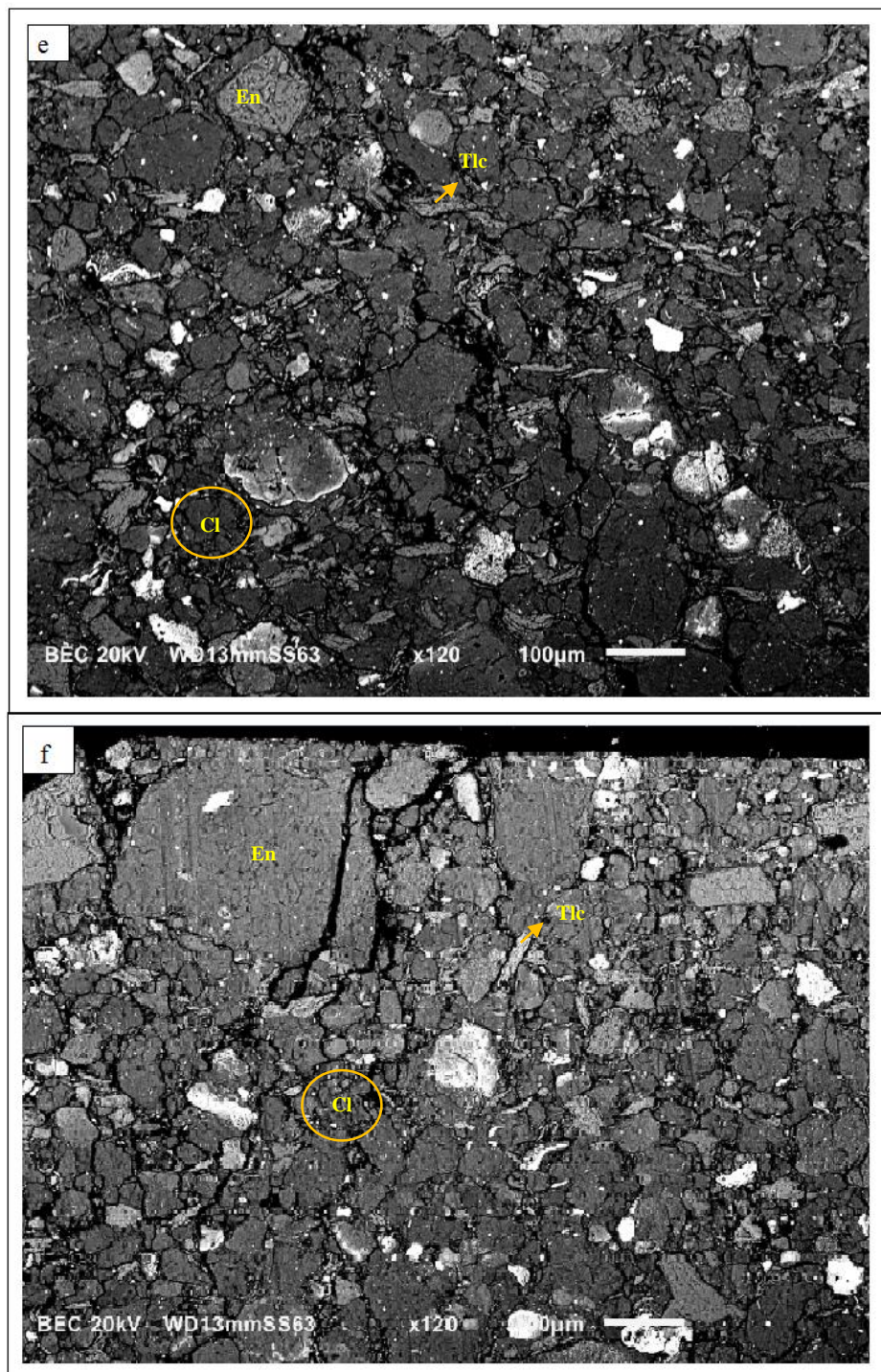
A presença de óleo na massa cerâmica provocou variação da textura superficial. As regiões de cor preta nas imagens indicam as áreas onde não há reflexão ou emissão de elétrons, ocorrendo em áreas com maior depressão morfológica e desnível entre a superfície, podendo

indicar a existência de poros. As áreas nas imagens “a” e “c” que apresentam maior brilho caracterizam falha no processo de metalização das cerâmicas, onde a camada metalizada utilizada para as análises não aderiram suficientemente à superfície. Observa-se maior densificação dos corpos de prova da composição SPS15, conforme esperado. Nota-se nestas mesmas imagens (“a” e “c”) a diferença de coesão entre as partículas da cerâmica, além disso pode-se notar que a composição SPS15 apresenta menor porosidade em sua superfície. As imagens obtidas pelo MEV corroboram os resultados que foram obtidos para características mecânicas da cerâmica, como a porosidade, onde os corpos de prova SPO15 sinterizados a 1000°C apresentam maior percentual de porosidade do que as SP15 sinterizados a 1000°C.



**Figura 5.16** Micrografias obtidas ao MEV apresentando aspectos morfológicos e de microestrutura dos corpos de prova SPO15 (figuras a e b) e SP15 (figuras c e d). Imagem de elétrons retroespalhados (a e c) e imagens elétrons secundários (b e d) Aumento de 120x.

A figura 5.17 apresenta imagens de elétrons retroespalhados dos corpos de prova SPSO15 e SPS15 compactados a 28MPa e queimados a 1000°C.



**Figura 5.17** Micrografias obtidas ao MEV apresentando aspectos morfológicos e de microestrutura dos corpos de prova SP15 (imagem e) e SPO15 (imagem f). Imagem de elétrons retroespalhados. Aumento de 120x.

As imagens evidenciam a menor porosidade do corpo de prova cerâmico com substituição por esteatito, sem o óleo diesel adsorvido. A temperatura de ebulição do óleo diesel se encontra entre 34°C e 185°C e sua combustão (com liberação de gases) ocorre na faixa de 257°C (CURL e O'DONNELL, 1977). A maior porosidade do corpo de prova composto pela

mistura de esteatito com óleo diesel pode estar ligado à evaporação do óleo e posterior escapamento de vapor d'água e gás carbônico que, ao serem emitidos podem abrir espaço na estrutura do corpo até que consigam ser liberados.

A seta amarela na figura 5.17f indica a presença da enstatita provavelmente formada pela decomposição dos minerais de talco. Ainda nessa figura é possível observar os aglomerados de argila de cores cinza escuro (partículas mais escuras na imagem), indicadas pelas setas azuis, além da presença de talco que não sofreu decomposição (partículas palhetares), indicadas pelas setas vermelhas.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados dos estudos de adsorção de óleo diesel em resíduos de esteatito utilizada no artesanato da região de Santa Rita de Ouro Preto bem como os estudos de incorporação do resíduo e do resíduo adsorvido de óleo diesel em corpos de prova cerâmicos permitiram as seguintes conclusões:

- O solo argiloso, matéria-prima da cerâmica confeccionada neste estudo, apresentou  $d_{80}$  de  $90,7\mu\text{m}$  após cominuição. O material após cominuição apresentou 55,3% de sua massa com tamanhos maiores que  $20\mu\text{m}$ ; 36,7% com tamanhos entre  $2\mu\text{m}$  e  $20\mu\text{m}$  e 8% com tamanhos menores que  $2\mu\text{m}$ .
- A análise termogravimétrica do solo argiloso mostrou que o aquecimento da amostra até  $1000^{\circ}\text{C}$  provoca uma perda de massa de 16,33%. A amostra de resíduo de esteatito perdeu 7,14% de sua massa no aquecimento até  $1000^{\circ}\text{C}$ .
- A adsorção de óleo diesel na amostra de resíduo de esteatito, no tempo de escoamento de 30 minutos, foi crescente com o aumento do tempo de contato, apresentando estabilização no tempo de contato de 2 horas. Na condição de adsorção de 2 horas de contato e 30 minutos de escoamento a adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito foi de  $1,79\text{g/g}$ , sendo esse o maior valor de adsorção encontrado.
- A calcinação do resíduo de esteatito diminuiu a adsorção de óleo diesel do material. O maior valor de adsorção para o resíduo de esteatito calcinado foi de  $1,49\text{g/g}$  nos tempos de contato de 24 horas e escoamento de 30 segundos. Para o tempo de contato de 2 horas e escoamento de 30 minutos a adsorção de óleo diesel no resíduo de esteatito calcinado foi de  $1,70\text{g/g}$ .
- Os testes de adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito na presença de água mostraram que o material não é um adsorvente eficiente para derramamentos de óleo em água.
- Os corpos de prova de cerâmica de todas as cinco composições nas duas condições de compactação (14MPa ou 28 MPa) apresentaram expansão durante a secagem. O maior valor de RLS foi de  $-0,28\% \pm 0,08\%$  apresentado pelo CP SPS5 e compactado a 14MPa. O menor valor de RLS foi de  $-0,10\% \pm 0,08\%$  e foi apresentado pelo CP SPSO5 compactado a 14MPa.

- A RLQ dos CP's de todas as composições seguiu uma tendência crescente com o aumento de temperatura de queima e com o aumento da pressão de compactação. De maneira geral  $RLQ_{1000^{\circ}C/28MPa} > RLQ_{1000^{\circ}C/14MPa} > RLQ_{850^{\circ}C/28MPa} > RLQ_{850^{\circ}C/14MPa}$ . O maior valor de RLQ, 3,16%, foi apresentado pelo CP S compactado a 28MPa e queimado a 1000°C. O menor valor de RLQ, 0,79%, foi apresentado pelo CP SPS15 compactado a 14MPa e queimado a 850°C.
- A MEQ dos CP's seguiu uma tendência crescente com o aumento da temperatura de queima com o aumento da pressão de compactação. De maneira geral  $MEQ_{1000^{\circ}C/28MPa} > MEQ_{1000^{\circ}C/14MPa} > MEQ_{850^{\circ}C/28MPa} > MEQ_{850^{\circ}C/14MPa}$ . O maior valor de MEQ, 1,67g/cm<sup>3</sup>, foi apresentado pelo CP SPS15 compactado a 28MPa e queimado a 1000°C. O menor valor de MEQ, 1,39g/cm<sup>3</sup>, foi apresentado pelo CP SPSO15 compactado a 14MPa e queimado a 850°C.
- A absorção de água dos CP's em todas as condições de confecção mostrou que essas condições de confecção são inadequadas para os padrões de blocos de vedação e blocos estruturais que devem apresentar AA menor que 22%. A menor AA, 21,59%, foi observada no CP SPS15 queimado a 1000°C e compactado a 28MPa. A maior AA, 31,95%, foi apresentada pelo CP S queimado a 850°C e compactados a 14MPa.
- A resistência à compressão (RC) dos CP's seguiu uma tendência crescente com o aumento da temperatura de queima com o aumento da pressão de compactação. De maneira geral  $RC_{1000^{\circ}C/28MPa} > RC_{1000^{\circ}C/14MPa} > RC_{850^{\circ}C/28MPa} > RC_{850^{\circ}C/14MPa}$ . O maior valor de RC, 82,06MPa, foi apresentado pelo CP SPS15 compactado a 28MPa e queimado a 1000°C. O menor valor de RC, 8,62MPa, foi apresentado pelo CP SPS15 compactado a 14MPa e queimado a 850°C.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCHAR, W. **Materiais Cerâmicos Caracterização e Aplicações**. Ed. EDUFRRN. Natal, Brasil, 113 p. 2006.

AGÊNCIA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DE MINNESOTA (MPCA). **Thermal Treatment of Petroleum Contaminated Soil - Guidance Document 3-10**. Petroleum Remediation Program. 2005.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (EPA-US). **Understanding Oil Spills and Oil Spill Response**. Oil Program Center. 48p. 1999.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (EPA-US). **Vegetable Oils and Animal Fats**. 2014a. Disponível em: < <http://www2.epa.gov/emergency-response/vegetable-oils-and-animal-fats>> Acesso em 02 abr. 2015

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (EPA-US). **Types of Refined Petroleum Products**. 2014b. Disponível em: < <http://www2.epa.gov/emergency-response/types-refined-petroleum-products>>. Acesso em 02 abr. 2015

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (EPA-US). **OECD Guideline for the Testing of Chemicals**. 2000. Disponível em < [https://archive.epa.gov/scipoly/sap/meetings/web/pdf/106-adsorption\\_desorption\\_using.pdf](https://archive.epa.gov/scipoly/sap/meetings/web/pdf/106-adsorption_desorption_using.pdf)>. Acesso em 16 abr. 2016.

ALMEIDA, S. de. **Lavra, artesanato e mercado do esteatito de Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2006. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7170: Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria**. 1983.

----- **NBR 14063: Óleos e Graxas - Processos de Tratamento em Efluentes de Mineração**. 1998.

----- **NBR 15270-1: Componentes Cerâmicos. Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação - Terminologia E Requisitos**. 2005

----- . **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural - Terminologia e Requisitos.** 2005

BACCELI JR., G. **Avaliação do Processo Industrial da Cerâmica Vermelha na Região do Seridó – RN.** Tese (Doutorado em Tecnologia dos Materiais). 199 p. UFRN. 2010.

BAZARGAN, A., TAN, J., MCKAY, G. **Standardization of Oil Sorbent Performance Testing.** Journal of Testing and Evaluation, v. 43, n. 6, pp. 1–8. 2014.

BEZERRA, O. M. P. A. **Condições de Vida, Produção e Saúde em uma Comunidade de Mineiros e Artesãos em esteatito em Ouro Preto, Minas Gerais: uma Abordagem a Partir da Ocorrência de Pneumoconioses.** 170p. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2002.

CARVALHO, H.J.S., MIGUEL, P., PINTO, L.F.S., BRAGA, M.G., GOMES, S.R., FARIAS S.S. **Uso de Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica (ATD-TG) na Caracterização e Quantificação de Propriedades do Solo.** X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo Fatos e Mitos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Pelotas-RS. 3p. 2014

CASANOVA, H., ORREGO, J.A., ZAPATA, J. **Oil Absorption of Talc Minerals and Dispersant Demand of Talc Mineral Non-Aqueous Dispersions as a Function of Talc Content: a Surface Chemistry Approach.** Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, vol. 299, pp 38-44. 2007.

CHARNAY, C., LAGERGE, S., PARTYKA, S. **Assessment of the Surface Heterogeneity of Talc Materials,** J. Colloid Interface Sci., 233, pp 250–258. 2001.

CHAVES, A.P. **A Flotação de Minérios de Magnesita e Talco no Brasil.** In: Teoria e Prática do Tratamento de Minérios vol. 4, pp 351-368. 2006.

CHOUKSEY, M. K., KADAM, A. N., ZINGDE M. D. **Petroleum Hydrocarbon Residues in the Marine Environment of Bassein-Mumbai.** Pollution Bulletin, v. 49, pp. 637–647. 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n° 357.** 2005

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n° 430.** 2011

COOPER, D., GAUSEMEL, I. **Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program.** Oil Spill Conference, Research and Development, 1993

CURL, JR., H. O'DONNELL, K. **Chemical and Physical Properties of Refined Petroleum Products.** NOAA Technical Memorandum ERL MES-17. Marine Ecosystems Analysis Program. Boulder, Colorado. 1977

ENUJIUGHA, V. N., NWANNA, L. C. **Aquatic Oil Pollution Impact Indicators.** Journal of Applied Sciences & Environmental Management, v. 8, n. 2. pp. 71-75. 2004.

FERREIRA, W. L. **Adição de Resíduos do Setor Mineral-Metalúrgico na Fabricação de Tijolos Solo-Cal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas. 67 p. Universidade Federal de Ouro Preto. 2013.

FLAHERTY, L. M., JORDAN, J. M. **Sorbent Performance Study for Crude and Refined Petroleum Products.** Oil Spill Conference, Cleanup Operations. 1989.

FÖDVÁRI, M. **Handbook of Thermogravimetric System of Minerals and its Use in Geological Practice.** Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary, v. 213. 180p. Hungria, 2011.

FROST, RAY AND CARMODY, ONUMA AND XI, YUNFEI AND KOKOT, SERGE **Adsorption of Hydrocarbons on Organo-Clays - Implications for Oil Spill Remediation.** Journal of Colloid and Interface Science. Ed. Elsevier. pp 17-24. .2007

GARDA, G. M., SCHORSCHER, J. H. D., BELJAVSKIS, P., MANSUETO, M. S., NAVARRO, M. S., MOTA, A. A. **Composição Química da Turmalina de Turmalinitos Estratiformes da Mina de Passagem de Mariana, Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG).** Revista do Instituto de Geociências, v. 9, n. 2, pp 3-22. USP. 2009.

IMERYS TALC. **Talc through the Microscope.** Disponível em: <[http://www.imerystalc.com/content/corporate/About\\_talc/Talc\\_the\\_mineral/Mineralogy\\_&\\_morphology/](http://www.imerystalc.com/content/corporate/About_talc/Talc_the_mineral/Mineralogy_&_morphology/)>. Acesso em: 31 mar, 2015.

HLAVAC, J. **The Technology of Glass and Ceramics.** Glass Science and Technology, v.4. 53p. Ed. Elsevier 1983

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. **Relatório de Acidentes Ambientais 2013**. 2014 Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/documentos/publicacoes>>. Acesso em: 06, abr., 2015

ITOPF. **Use of Sorbents Materials in Oil Spill Response**. Technical Information Paper. 2014. Disponível em: <<http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/document/tip-8-use-of-sorbent-materials-in-oil-spill-response/>>. Acesso em: 01, abr., 2015.

JONES, M. T., NAJAFI, F. T. **The Disposal of Used Oil, Spilled Crude Oils and their Associated Sorbent Materials**. 4<sup>th</sup> Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. Montréal, Québec, Canadá. 2002.

KLEIN, C., DUTROW, B. **Manual de Ciências dos Minerais**. 23<sup>a</sup> Ed. Bookman. pp 551-554. 2012.

KOGEL, J.E., TRIVEDI, N.C., BARKER, J.M., KRUKOEWski, S.T. **Industrial Minerals and Rocks: commodities, markets and uses**. 7<sup>a</sup> edição. SME. pp 3-133. 2006

KUCHARSKI, J., TOMKIEL, M., BOROS, E., WYSZKOWSKA, J. **The Effect of Soil Contamination with Diesel Oil and Petrol on the Nitrification Process**. J. Elementol. 5(1): pp. 111–118. 2010.

KUZVART, M. **Industrial Minerals and Rocks**. Elsevier. Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo. p. 252-254. 1984.

LU, G., LU, G.Q., XIAO, G.M. **Mechanical Properties of Porous Materials**. Journal of Porous Materials, v. 6. pp 359-368. 1999 .

MELCHIADES, F.G. ROVERI, C. D., SOTÉRIO, J., SILVA, L.L, BOSCHI, A. O. **Controle Dimensional e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte I: Dimensões**. Cerâmica Industrial, v. 6. pp 27-33. 2001

MENDES, T. R. S. **Estudo da Exploração da Argila para Material Cerâmico na Construção Civil no Município de Limoeiro do Norte – CE**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). 44 p. UFERSA. 2013.

MILLER, J.D., KHALEK, N.A., BASILIO, C., EL-SHALL, H., FA, K., FORSSBERG, K.S.E, FUERSTENAU, M.C., MATHUR, S., NALASKOWSKI, J., RAO, K.H., SOMASUNDERAN, P., WANG, X., ZHANG, P. **Flotation Chemistry and Technology of Nonsulfide Minerals**. Froth Flotation – A century of Innovation. SME. 2007.

MINEROPAR. **Perfil da Indústria da Indústria de Cerâmica no Estado do Paraná**. Programa De Desenvolvimento Da Indústria Mineral Paranaense - Paraná Mineral. Curitiba. 2000.

MONDO MINERALS. **Technical Bulletin 1206: Low Oil Absorption Talc for High Solids Coatings**. Disponível em: <  
[http://www.mondominerals.com/uploads/media/Mondo\\_TB1206.pdf](http://www.mondominerals.com/uploads/media/Mondo_TB1206.pdf)>. Acesso em: 05, abr., 2015.

PANZERA, T. H., STRECKER, K., OLIVEIRA, L. G., VASCONCELOS, W. L., SCHIAVONC, M. A. **Effect of Steatite Waste Additions on the Physical and Mechanical Properties of Clay Composites**. Materials Research, v. 13, pp. 535-540. 2010.

PASCHOAL, J. A. A., **Estudo de Parâmetros de Qualidade para a Cerâmica Estrutural Vermelha**. Dissertação (Pós-Graduação Engenharia Civil) Programa de pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos, 187 p. UFSC. 2003.

PINHEIRO, J. C. F. **Perfil Analítico do Talco**. Boletim M.M.E/DNPM n. 22, p. 26-27. Rio de Janeiro. 1973.

PONTES, I. F., ALMEIDA, S. L. M. **Talco**. In: LUZ, A. B., LINS, F. A. F. Rochas & Minerais Industriais Usos e Especificações. pp. 607-628. CETEM. Rio de Janeiro. 2005.

PRADICELLI, S., MELCHIADES, F. G. **Importância da Composição Granulométrica de Massas para a Cerâmica Vermelha**. Cerâmica Industrial, v. 2, n. 1/2, pp. 31-35. 1997.

RODRIGUES, M. L. M. **Caracterização Tecnológica de Resíduos de Oficinas de Artesanato de esteatito da Região de Ouro Preto**. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

ROESER, U., ROESER, H., MUELLER, R. F., TOBSCHALL, H. J. **Petrogênese dos Esteatitos do Sudeste do Quadrilátero Ferrífero**. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, ANAIS, v. 4. p. 2230-2245. Balneário Camboriú. 1980.

ROGAN, K. R. **Adsorption of Oleic Acid and Triolein onto Various Minerals and Surface Treated Minerals**. Colloid & Polymer Science. v. 272, pp. 82-98. 1994.

SALOMÃO, R., BITTENCOURT, L.R.M., PANDOLFELLI, V.C. **Aspectos da Hidratação de Óxido de Magnésio em Formulações e Concretos Refratários**. Cerâmica 52. pp 146-150. 2006.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de argilas**. 2ª Edição, v.1, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, SP. 1989 SANTOS, H.S., YADA, K. **Thermal Transformation of Talc as Studied by Electron-Optical Methods**. Clays and Clay Minerals. v. 36,n. 4. pp 289—297. 1988

SCHATZBERG, P. **Investigation of Sorbents for Removing Oil Spills from Waters**. Report n° 724110.1/2/1. Coast Guard – Office of Research & Development. 48 p. Maryland. EUA. 1971.

SHREVE, R. N., BRINK JR., J. A. **Indústrias de Cerâmica**. In: Indústrias de Processos Químicos. 4ª Ed., pp. 123-137. Editora Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro. 1997.

SILVA, G. M., TANNÚS, M. B., MOREIRA, C. V. R. **Economia e Sociedade no Sistema de Produção Mínero-Artesanal**. In: Simpósio de Engenharia de Produção/XIII SIMPEP, Bauru, SP, pp 1-12.2006

SILVEIRA, D. M. **Adsorção de um Ácido Graxo Utilizado em Flotação por Vermiculita Hidrofóbica**. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

TORRES, H. S. S. **Caracterização do Refugo do Esteatito das Indústrias e Oficinas Artesanais da Região de Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Mariana e Ouro Preto**. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto,2007.

TORRES, H. S. S., VARAJÃO, A. F. D. C., SABIONI, A.C.S. COSTA, G. M., MATEUS, A.C.C. **Ensaio Térmico para Avaliação das Mudanças de Fase e da Sinterização de Cerâmicas de Esteatito**. In: Red Minería XXI. Anais de congreso: Técnicas Aplicadas a la Caracterizacion y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros. v. III. pp 143-149. Espanha. 2012.

UNITES, D., RIPP, J., OWEN, S. **Incidental Thermal Treatment and Reuse of Contaminated Soils**. Third International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe. 1996.

VIEIRA, C. M. F., MONTEIRO, S. N. **Cerâmica Argilosa Incorporada com Resíduo Oleoso Proveniente do Setor Petrolífero**. *Matéria*, v.11, n.3, Rio de Janeiro. 2006.

WAINIPEE, W., CUADROS, J., SEPHTON, M. A., UNSWORTH, C., GILL, M. G., STREKOPYTOV, S., WEISS, D. M. **The Effects of Oil on As(V) Adsorption on Illite, Kaolinite, Montmorillonite and Chlorite**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 121, pp 487-502. 2013.

WILLS, B. A., **Mineral Processing Technology**. 5<sup>a</sup> Edição. Pergamon Press, 855p. Nova Iorque. 1992.

ZADAKA-AMIR, D., BLEIMAN, N., MISHAEL, Y. G. **Sepiolite as an Effective Natural Porous Adsorbent for Surface Oil-Spill**. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 169, pp 153-159. 2012.