



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE MINAS E CIVIL

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

NAYARA STEFANIE BORGES

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS DO COMPLEXO MINERAL DE TAPIRA MG

ARAXÁ MG

2015

NAYARA STEFANIE BORGES

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS DO COMPLEXO MINERAL DE TAPIRA MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / Campus IV – Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Orientador: Esp. Francisco de Castro Valente Neto

Coorientador: Dr. Domingos Sávio de Resende

ARAXÁ – MG

2015

NAYARA STEFANIE BORGES

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS ARGILAS DO COMPLEXO MINERAL  
DE TAPIRA MG

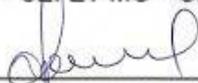
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais /  
Campus IV – Araxá, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheiro de Minas.

Data de aprovação: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Banca Examinadora:



FRANCISCO DE CASTRO VALENTE NETO – Presidente da Banca Examinadora  
Professor Esp. – CEFET-MG – Orientador



DOMINGOS SÁVIO DE RESENDE  
Professor Dr. – CEFET-MG - Coorientador



ALEXANDER MARTIN SILVEIRA GIMENEZ  
Professor Ms. – CEFET-MG



MARCELA MAIRA NASCIMENTO DE SOUZA SOARES  
Professor Ms – CEFET-MG

A todos aqueles que me fizeram não desistir.

## **Agradecimentos**

Aos meus professores, em especial ao meu orientador, Francisco e ao professor Domingos Sávio pela cooperação e paciência.

À minha família pelo apoio constante.

Aos colegas que junto comigo lutaram até aqui.

*“O conhecimento nos faz responsáveis”.*  
(Che Guevara)

## RESUMO

No Complexo Mineral de Tapira, MG, onde acontece a exploração de fosfato, existe grande quantidade de solo argiloso na zona de estéril. O avanço tecnológico e o aumento da pesquisa científica propiciam o desenvolvimento de materiais cada vez mais sofisticados. Dessa forma a argila tem seu uso expandido para diversos tipos de processos, já que a argila é um material versátil e utilizado em diversos segmentos industriais. O presente trabalho apresenta a caracterização e avaliação deste material, analisando seu potencial de utilização, principalmente como material cerâmico e como adição pozolânica. Para as análises foram utilizadas três tipos de material coletados na região da mina de fosfato, uma amostra coletada mais superficialmente e duas em profundidades maiores. Foram feitos ensaios de caracterização física para conhecimento da distribuição granulométrica, limite de liquidez e plasticidade e perda ao fogo. Também foi executado o ensaio de caracterização química e a partir de fluorescência de raios-x, sendo que para este foi adicionada uma amostra de material utilizado como matéria-prima por uma fábrica de tijolos da região. Os resultados indicam que o material possui potencial para utilização como material cerâmico ou pozolana, sendo necessário a realização de mais testes para melhor conhecimento das propriedades do material e adequação do mesmo.

Palavras-chaves: Argila. Tapira. Estéril. Caracterização.

## ABSTRACT

The Mineral Complex of Tapira, MG, where the phosphate exploitation happens, there is a large amount of clay soil in the sterile area. Technological advances and the increase in scientific research favor the development of increasingly sophisticated materials. Thus the clay has expanded its use for use in various types of processes, as the clay is a versatile material and used in various industrial segments. This work presents the characterization and assessment of this material, analyzing their potential use, especially as ceramic material and as pozzolanic addition. For the analysis we used three types of materials collected at the phosphate mine region, a sample collected more superficially and two at greater depths. Physical characterization tests were made to knowledge of the particle size distribution, liquid limit and plasticity and loss on ignition. Also performed were tests of chemical and mineralogical characterization based on x-ray fluorescence, x-ray diffraction, and for these was added a sample of the material used as feedstock for a brick factory in the region. In addition to these it was also made analysis by scanning electron microscopy in samples collected in mining. The results indicate that the material has potential for use as ceramic and pozzolan, being necessary to conduct further tests to improve knowledge of the material properties.

Keywords: Clay. Tapira. Sterile. Description.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Estrutura dos silicatos .....	14
Figura 2.2: Estrutura da folha silício-oxigênio nos filossilicatos.....	15
Figura 2.3: Estados e limites de consistência para argilas em função da umidade...20	
Figura 2.4: Localização da cidade de Tapira MG .....	21
Figura 3.1: Vista frontal da mina de fosfato .....	25
Figura 3.2: Localização dos pontos de amostragem .....	25
Figura 3.3: Mufla utilizada no ensaio de perda ao fogo .....	27
Figura 3.4: Amostra colocada no dessecador após ensaio de perda ao fogo .....	28
Figura 3.5: Peneiramento fino .....	29
Figura 3.6: Peneiramento grosso .....	30
Figura 3.7: Amostras peneiradas na peneira de abertura 0,42 mm para ensaio de LL e LP.....	31
Figura 3.8: Cilindro formado no ensaio de LP .....	31
Figura 3.9: Aparelho de Casagrande e cinzel .....	32
Figura 3.10: Massa dividida pelo cinzel.....	32
Figura 3.11: Massa após o ensaio de limite de liquidez .....	33
Figura 3.12: Material nas cápsulas após secagem .....	33
Figura 3.13: Espectrômetro utilizado para realização da fluorescência de raios-x....	34
Figura 4.1: Amostra 1 .....	35

Figura 4.2: Amostra 2.....	36
Figura 4.3: Amostra 3.....	36
Figura 4.4: Curvas de distribuição granulométrica .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Localização dos pontos de amostragem .....	24
Tabela 4.1: Teor de umidade das amostras .....	37
Tabela 4.2: Resultado dos testes de perda ao fogo .....	37
Tabela 4.3: Análise granulométrica do peneiramento fino da amostra 1 .....	38
Tabela 4.4: Análise granulométrica do peneiramento fino da amostra 2 .....	39
Tabela 4.5: Análise granulométrica do peneiramento fino da amostra 3 .....	39
Tabela 4.6: Resultado do teste de LP .....	40
Tabela 4.7: Resultado do teste de LL .....	41
Tabela 4.8: IP e classificação das amostras .....	41
Tabela 4.9: Composição química obtida pela fluorescência de raios-x .....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	Objetivos.....	12
1.1.1	Objetivo Geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1	Característica das argilas.....	13
2.2	Formas de aproveitamento de material argiloso.....	15
2.3	Caracterização tecnológica das argilas.....	17
2.4	Complexo mineral de tapira.....	20
<b>3</b>	<b>MATERIAIS É MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1	Coleta das amostras.....	24
3.2	Caracterização física.....	25
3.2.1	Análise Tátil visual.....	26
3.2.2	Determinação de umidade.....	26
3.2.3	Perda ao fogo.....	27
3.2.4	Análise granulométrica.....	29
3.2.5	Limite liquidez e plasticidade.....	30
3.3	Caracterização química.....	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>

4.1	Caracterização Física .....	35
4.1.1	Análise Tátil visual .....	35
4.1.2	Determinação de umidade .....	36
4.1.3	Perda ao fogo .....	37
4.1.4	Análise granulométrica .....	38
4.1.5	Limite de plasticidade, liquidez (LP, LL) e índice de plasticidade (IP)..	40
4.2	Caracterização química .....	41
4.2.1	Fluorescência de raios-x.....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Complexo Mineral de Tapira MG realiza a extração de minério fosfático para a produção de fertilizantes. A mineradora dispõe de grande quantidade de material argiloso encontrada na zona de estéril da mina, o qual não é aproveitada em nenhuma parte do processo. Não existem estudos de caracterização desse material, para que possa lhe ser dada alguma destinação, e essa falta faz com que o mesmo seja direcionado para a pilha de estéril.

A crescente demanda na produção de fertilizantes segundo Santos et al. (*apud* MATOS NETO, 2013), aumenta do passivo ambiental representado pelos materiais considerados estéreis e que atualmente são acondicionados em pilhas que requerem grandes áreas para sua disposição e não oferecem nenhum retorno financeiro.

O conhecimento sobre essa argila pode favorecer seu uso como matéria-prima em indústrias da região, fazendo com que possa haver mais uma opção de material explorado advindo do Complexo.

O uso de métodos de análises a partir de testes de laboratório tornam possível a obtenção de informações sobre as características físicas, químicas e mineralógicas, para enquadrar as argilas em grupos pré-definidos e definir qual é seu uso mais apropriado.

A execução desse trabalho justifica-se no grande volume de material argiloso proveniente da atividade mineradora existente no município de Tapira, e nos diversos benefícios tecnológicos, econômicos e ambientais que a utilização desse estéril pode trazer.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar e estudar a utilização de argilas existentes nos depósitos minerais de Tapira MG.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar química e fisicamente o material;
- Determinar o potencial utilização do material como adição pozolânica ou cerâmica.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Característica das argilas

Segundo Dana e Hurlbut (1976) a argila é uma rocha constituída por diferentes minerais em proporções variadas. O termo também é utilizado para designar material terroso de granulação fina. As argilas são constituídas, principalmente por um grupo de substâncias conhecidas como minerais argilosos, que são silicatos de alumínio hidratados. A argila pode ser constituída de um único mineral argiloso ou misturadas com minerais como o feldspato, quartzo, micas e carbonatos.

De acordo com Sales Júnior (2008), as argilas são materiais heterogêneos e de difícil classificação. A complexidade é tanta que não existem duas argilas iguais. A formação geológica, a composição química mineralogia dos argilo-minerais e da fração não-argilosa são os principais critérios para classificação das argilas.

Na visão da sedimentologia, de acordo com Sales Júnior et. al. (*apud* PRADO, 2011), a fração argilosa de um material corresponde à faixa granulométrica de partículas com tamanho inferior a  $2\mu\text{m}$  ou  $4\mu\text{m}$ .

De acordo com Das (*apud* Matos Neto, 2013, p. 28):

As partículas classificadas apenas com referência no seu tamanho podem não conter necessariamente argilominerais. Os solos que não são argilas podem conter partículas pequenas o suficiente para estar na classificação de argila. Portanto, é apropriado que partículas de solo menores que  $2\mu\text{m}$ , sejam chamadas de partículas de tamanho de argila em vez de argila.

Petrucci (*apud* RANIERI, 2007) descreve que há vários tipos de argila na crosta terrestre. Elas se diferenciam uma das outras pela diferente relação entre a sílica e a alumina, pela quantidade de água que faz parte de sua constituição, por sua estrutura e pelas substituições que podem ocorrer dentro do retículo cristalino como, por exemplo, do alumínio por magnésio ou ferro. Essas diferenças causam alterações das características de interesse para as diversas aplicações tecnológicas.

As argilas como minerais se inserem no grupo dos silicatos, formados por principalmente alumínio e silício. Os silicatos são os principais minerais formadores de rocha e constituem os materiais cerâmicos mais importantes. Dana e Hurlbut (1976) descrevem a estrutura dos silicatos como um tetraedro, quatro íons de oxigênio nos vértices rodeando o íons de silício tetravalente (Figura 3.1).

Dana e Hurlbut (1976) descreve cada íon de oxigênio como tendo a potencialidade de ligar-se com outro íon de silício e entrar em outro agrupamento tetraédrico, unindo os grupos tetraédricos. Essa união dá origem a uma diversidade de configurações estruturais. É possível ter o alumínio nos silicatos tanto substituído o silício quanto em relações de soluções sólidas com o magnésio e ferro.

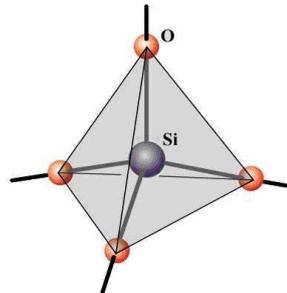


Figura 2.1: Estrutura dos silicatos

Fonte: <http://www.seara.ufc.br/sugestoes/quimica/quimica027.htm>

A estrutura dos silicatos pode consistir em tetraedros independentes, em grupos tetraédricos múltiplos, independentes, cadeias, faixas, folhas ou armações tridimensionais (DANA e HURLBUT, 1976).

Segundo Dana e Hurlbut (1976), os filossilicatos, classe em que as argilas estão inseridas, geralmente são minerais de baixa dureza (riscados pela unha) e densidade relativa comparativamente baixa. Nesses minerais as lamelas de clivagem podem ser flexíveis e elásticas, características originadas na estrutura da folha silício-oxigênio estendida indefinidamente (Figura 3.2). Na folha, três dos quatro oxigênio em cada tetraedro  $\text{SiO}_4$  são compartilhados com os tetraedros vizinhos.

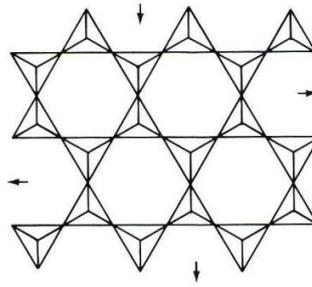


Figura 2.2: Estrutura da folha silício-oxigênio nos filossilicatos

Fonte:

[http://geomuseu.ist.utl.pt/BIMineral/BI%20Finalizados%20\(SEM%20REVIS%C3O\)/Lepidolite/Figuras%20Lepidolite/](http://geomuseu.ist.utl.pt/BIMineral/BI%20Finalizados%20(SEM%20REVIS%C3O)/Lepidolite/Figuras%20Lepidolite/)

A hidroxila está presente na maioria dos minerais dessa classe, inclusive nas argilas, como relata Dana e Hurlbut (1974) e o alumínio formam um poliedro estável com a hidroxila. Os íons de alumínio formam um padrão de anéis hexagonais em que a posição no centro do anel não está ocupada.

De acordo com Matos Neto (2013) os três principais argilominerais presentes nas argilas são a caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), a montmorilonita ( $(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e a illita ( $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, \text{H}_2\text{O}]$ ). A presença dos diversos argilominerais e impurezas nas argilas influem na plasticidade, na água de moldagem e no comportamento durante a secagem e queima.

## 2.2 Formas de aproveitamento de material argiloso

Segundo Branco (2009), cerca de 90% do volume extraído de argila é utilizado no setor da construção civil, o restante tem utilização variada, dentre elas a fabricação de tintas, papéis e produtos químicos e farmacêuticos.

A argila de alta qualidade, denominada porcelana ou caolim, tem muitos empregos além da manufatura de porcelana ou cerâmica. Seu maior emprego reside

na fabricação de papel, para melhoria da sua superfície e aumentar sua opacidade (DANA e HURLBUT,1974)

Santos (apud SALES JÚNIOR, 2008) define cerâmica como sendo todo material de emprego em engenharia formado por minerais não metálicos, que fica utilizável após tratamento térmico em altas temperaturas. Tal material é um dos mais antigos utilizados pelo homem.

Sales Júnior (2008) divide os produtos cerâmicos em dois tipos: as cerâmicas tradicionais que incluem tijolos, telhas, vidro e cimento, geralmente feitos de matéria-prima *in natura* ou pouco beneficiadas e com menor valor comercial; cerâmicas técnicas: aquelas que possuem alto valor tecnológico, advinda de matérias-primas beneficiadas ou sintéticas e com alto valor agregado

Para Dana e Hurlbut (1974) o valor principal da argila na fabricação de produtos de cerâmica está no fato que, quando úmida, pode ser moldada em qualquer forma, e, depois, quando aquecida, parte da água é expulsa, produzindo uma substância dura, permanente.

Na fabricação de tijolos, telhas e manilhas utiliza-se praticamente todo tipo de argila. Preferem-se, porém, aquelas com no máximo 30% de caulinita e com 25-50% de minerais não argilosos de granulação fina. Se o material for excessivamente plástico, adiciona-se areia (BRANCO, 2014).

Macedo et. al. (2008) informa que em muitos países conhecimento das características físicas, químicas e mecânicas dos materiais argilosos já é considerado uma das etapas mais importantes do processamento, fundamental para se obter produtos de boa qualidade. No Brasil não se observa essa tendência, com raras exceção de algumas fábricas concentradas basicamente no Estado de São. Paulo. A falta de informações mais concretas sobre as matérias-primas se reflete na produção de produtos de má qualidade na grande maioria das olarias do país.

As argilas também podem ser utilizadas pelas suas propriedades como pozolana. Segundo a Norma Brasileira 12653 (Associação Brasileira de Normas

Técnicas, 1992), materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

De acordo com Matos Neto et al. (2014), a utilização de argilas calcinadas que possuem atividade pozolânica em compósitos cimentícios possuem um grande potencial de promover soluções para a imobilização de resíduos industriais, tornando-os economicamente viáveis, e ainda contribuindo para o desenvolvimento sustentável das atividades industriais.”.

Segundo Dutra et. al. (2006), para a utilização das argilas em processos industriais é importante uma identificação completa do tipo de argila e suas propriedades, uma vez que as propriedades do produto final estão interligadas à característica inicial da matéria-prima. Esse tema, de grande relevância, já foi assunto de diversos e numerosos trabalhos em todo mundo

### **2.3 Caracterização tecnológica das argilas**

Para Neumann; Schneider; Alcover Neto. (2002), a caracterização de minérios é uma etapa fundamental para o aproveitamento de um recurso mineral, pois fornece os subsídios mineralógicos e texturais. Além de determinar e quantificar toda a assembléia mineralógica, definir quais são os minerais de interesse, definem-se diversas propriedades físicas e químicas destes minerais que potencialmente poderão ser úteis.

A forma de se caracterizar uma amostra de minério varia muito com a mineralogia e demais propriedades inerentes ao minério, com os objetivos e a abrangência da caracterização, com as rotas de processamento possíveis, e com a disponibilidade de tempo, capacidade analítica e recursos financeiros (NEUMANN; SCHNEIDER; ALCOVER NETO, 2002).

Segundo Neumann; Schneider; Alcover Neto. (2002) a identificação dos minerais baseia-se nas propriedades que o definem como o mineral, ou seja, composição química e estrutura, e propriedades físicas decorrentes. Se a amostra já foi previamente processada por densidade e susceptibilidade magnética, já há alguns dados sobre propriedades físicas disponíveis.

Na caracterização podem ser utilizados vários métodos, escolhidos de acordo com o tipo de parâmetro a ser analisado. Normalmente se trabalha em escala microscópica, apesar das observações em escala mesoscópica (amostras de mão) serem muito úteis, como informa Neumann; Schneider; Alcover Neto (2002), permitindo a identificação de parte dos minerais mais importantes. Para identificação da composição química utiliza-se a fluorescência de raios-x. Os métodos mais empregados para identificação dos minerais em escala microscópica são as microscopias ópticas (lupa, microscópio estereoscópico, microscópio petrográfico de luz transmitida e de luz refletida) e eletrônica, e a difração de raios X.

A fluorescência de raios X (XRF) é uma análise que, segundo Nascimento Filho (1999), baseia-se na medida das intensidades dos raios X emitidos pelos elementos químicos componentes de uma amostra, quando devidamente excitada. O método permite a determinação simultânea ou sequencial da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruição da amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico.

Nascimento Filho (1999) explica que a excitação pode ser feita de várias maneiras. Podem ser utilizadas partículas aceleradas como elétrons, prótons ou íons, por raios X, partículas alfa, partículas beta negativas ou raios gama emitidos por radionuclídeos, além do processo mais utilizado até recentemente, que é através raios X gerados em tubos.

Para Nascimento Filho (1999), as principais vantagens da fluorescência de raios X para a análise química de elementos são a sua adaptabilidade para automação, análise rápida multielementar, preparação simplificada da amostra.

Segundo Nascimento Filho (1999), quando um elemento de uma amostra é excitado, este tende a ejetar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, assim, elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico. O salto faz com que o elétron perca energia, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raio X, sendo que cada elemento possui uma energia característica e bem definida.

A análise por fluorescência de raios X é realizada em três fases. A primeira é a excitação dos elementos que constituem a amostra, a segunda é a dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e a última é a detecção desses raios X (NASCIMENTO FILHO, 1999).

Na caracterização química a técnica de perda ao fogo consiste na determinação da perda de massa da amostra durante a queima realizada na mufla. A perda de massa que se dá representa a extração de componentes orgânicos que possam existir. O teste faz parte da análise da pozolanicidade do material.

A análise granulométrica de partículas sólidas compreende a determinação do tamanho das mesmas, bem como da frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho Lima e Luz (2001).

A classificação granulométrica, ou seja, a determinação da distribuição do tamanho das partículas é de grande importância para caracterização de materiais particulados.

Embora a faixa granulométrica considerada como argila seja aquela abaixo de 2  $\mu\text{m}$ , muitas matérias-primas consideram como material argiloso o material passante na peneira de abertura 0,075 mm. De acordo com Capitaneo et. al. (2008) a fração argilosa de um material deve estar entre 20 e 30% para utilização em massa cerâmica.

Segundo Capitaneo et. al. (2002), o limite de plasticidade (LP) corresponde à quantidade de água mínima necessária para que uma argila ou massa cerâmica alcance o estado plástico e, portanto, ser moldada sem ruptura por aplicação de uma força exterior e pela retenção da forma quando a força é retirada.

Neumann; Schneider; Alcover Neto (2002) relata que a fração argila é responsável, quase sempre, pela plasticidade de um material. Uma argila com uma maior quantidade de minerais argilosos apresenta um tamanho médio de partículas menor e uma plasticidade maior, em comparação a uma argila com predominância de minerais não-argilosos.

Para Neumann; Schneider; Alcover Neto (2002), o limite de liquidez (LL) corresponde à máxima quantidade de água que uma argila ou massa cerâmica possa conter para ser moldável no estado plástico. A Figura 3.3 representa os três limites de consistência em função da umidade, sendo que apenas o LP e LL serão utilizados neste trabalho.

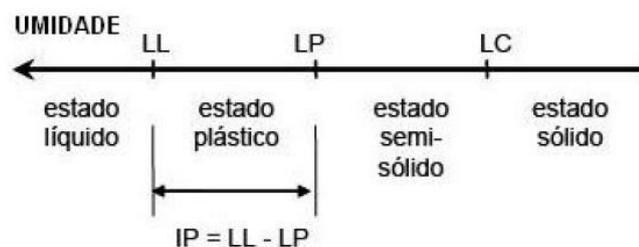


Figura 2.3: Estados e limites de consistência para argilas em função da umidade

Fonte: Junior (2008)

## 2.4 Complexo mineral de tapira

A cidade de Tapira (figura 3) localiza-se no estado de Minas Gerais, a aproximadamente 35 Km de Araxá e tem como principal atividade econômica a mineração de fosfato. As instalações da empresa ocupam uma área de 78000000m<sup>2</sup>, e a mina ocupa o 5º lugar no ranking de movimentação de minério no país (ARAUJO et al., 2002).

A reserva medida reservas de minério é da ordem de 265 milhões de toneladas, apresentando uma produção de 1,6 milhões de toneladas/ano de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SANTOS et. al. 2002, *apud* BEZERRA e BROD, 2012)



Figura 2.4: Localização da cidade de Tapira MG

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Tapira\\_\(Minas\\_Gerais\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tapira_(Minas_Gerais))

O Complexo Mineral de Tapira encontra-se inserido na província do Alto Paranaíba. De acordo com Gibson et. al., ( *apud* BEZERRA & BROD, 2012), existem corpos de rochas ultramáficas-carbonatíticas de dimensões de até 65 Km<sup>2</sup>, compreendendo Catalão I e II no sul de Goiás, e Serra Negra, Salitre I, II e III, Araxá e Tapira, no oeste de Minas Gerais. Os complexos intrudem rochas metamórficas neoproterozóicas dos domínios interno e externo da Faixa Brasília, as quais são tipicamente deformadas em estruturas dômicas.

Bezerra e Brod (2012) relatam que o intemperismo tropical é o principal da região e favoreceu a concentração econômica de fosfato e nióbio, além de titânio, terras raras, vermiculita e barita, que ainda não são aproveitados comercialmente.

A chaminé é coberta por rochas lateríticas com profundidade de aproximadamente 30 m. Cruz e Cheney. (*apud* ARAUJO et al., 2002) afirma que essas rochas são essencialmente argilosas ou encontram-se em avançado estágio de intemperismo.

As rochas existentes no complexo de Tapira são principalmente, rochas ultrabásicas, predominando o piroxenito (80%). As jazidas de fosfato e nióbio são

formadas por apatita e pirocloro, e o depósito de titânio, que não é aproveitado, é formada por anatásio, gerado a partir da perovskita. As jazidas de titânio, nióbio e terras raras são residuais e localizam-se no manto de intemperismo (BEZERRA e BROD, 2012).

O manto de intemperismo foi subdividido em cinco zonas de mineralização em função da mineralogia, petrografia e características químicas, como afirmam Cruz e Cheney (*apud*, Araujo et.al., 2002).

A primeira e mais superficial zona é a de estéril constituindo todo o material com teores abaixo de 5% de  $P_2O_5$  e menor de 15% de  $TiO_2$ . Sua cor é amarelo-avermelhado, sendo argiloso e de aspecto granular. São identificados fragmentos de rocha silicificada, nódulos milimétricos de limonita e raríssimas palhetas de vermiculita (CRUZ E CHENEY *apud*, ARAUJO et.al., 2002).

A segunda zona, encontrada logo abaixo do estéril é a mineralização de titânio, com teor de 15% de  $TiO_2$  e menos que 5% de  $P_2O_5$ . Esta zona diferencia da zona de estéril pela diminuição dos componentes argilosos, e o aumento considerável do teor de  $TiO_2$ , superior a 15% (CRUZ E CHENEY *apud*, ARAUJO et.al., 2002).

A zona de mineralização de fosfato com titânio ocorre abaixo da zona de mineralização de titânio. Os níveis de  $TiO_2$  são semelhantes aos da zona anterior, mas com maior quantidade de perovskita. O fosfato é predominantemente apatítico, havendo uma elevação nos teores de  $P_2O_5$ . Nesta zona há pouca limonita e maior quantidade de mica (CRUZ E CHENEY *apud*, ARAUJO et.al., 2002).

A zona de mineralização em fosfato sofreu menos intemperismo que as superiores. Nessa zona tem-se o teor de  $TiO_2$  está abaixo de 15% e  $P_2O_5$  maior que 5%. Há uma tendência em se encontrar teores mais altos de  $P_2O_5$  nos níveis mais elevados, decrescendo em profundidade (o teor de CaO acompanha o de fosfato). São encontrados também piroxênios, granadas e micas, sendo mais freqüente a flogopita. Existe uma fração logo acima da rocha fresca, com aproximadamente 30 m de espessura formada por zona dura, composta por piroxenito alterado e silexito,

que é desmontada com o uso de explosivos (CRUZ E CHENEY *apud*, ARAUJO et.al., 2002).

A zona de mineralização em nióbio - ocupa a parte mais central do corpo intrusivo. A fração intemperizada é muito profunda, com mais de 200 metros em alguns pontos. Há uma associação de nióbio e terras-raras com algum titânio e apatita. Para Araujo et. al. (2002) o titânio ocorre nas partes mais próximas à superfície e a apatita aparece abaixo da zona de nióbio, com teores, geralmente baixo.

Araujo et al. (2002) informa que a lavra é realizada a céu aberto e o depósito possui teor médio de 7,5% de  $P_2O_5$ . O minério fosfatado localiza-se abaixo de duas camadas a primeira e mais superficial é de material considerado como estéril, pois não possui valor econômico e a segunda é a de minério de titânio.

Para o beneficiamento o material é dividido em granulado e friável. De acordo com Araujo et al. (2002), após a lavra o material lavado por caminhões até a britagem primária. Posteriormente é estocado em duas pilhas de homogeneização de capacidade 240.000 toneladas de minério, cada uma. Depois de retomado o material é levado para a britagem secundária, moagem deslamagem por hidrociclone e por fim segue para a flotação.

Araujo et. al. (2002) afirma que os concentrados finais dos circuitos de flotação de granulado e friável são classificados e remoídos. O produto é espessado em operação conjunta (espessador e ciclone) e enviado para tanques de homogeneização que alimentam o mineroduto que leva o material até Complexo Industrial de Uberaba para a produção de fertilizantes. O rejeito é direcionado às barragens de contenção e parte da água é reutilizada no processo.

### 3 MATERIAIS É MÉTODOS

#### 3.1 Coleta das amostras

Para os estudos sobre as argilas do Complexo Mineral de Tapira foram coletadas três amostras em pontos específicos da área da mina, em diferentes horizontes (Figura 3.1) e uma amostra de material usado como matéria-prima em uma fábrica de tijolos da região para comparação dos resultados do teste de fluorescência de raios-x. A amostra 1 foi coletada na região mais superficial do terreno, correspondente ao estéril; a amostra 2 no horizonte abaixo deste e a 3 na região rica em titânio, mas também considerada estéril para a em presa mineradora. Todas as amostras foram armazenadas no Campus do CEFET Araxá e preparadas de acordo com cada teste a ser realizado.

Os pontos de coleta das três amostras, são representados pelas coordenadas indicadas na Tabela 3.1. Na Figura 3.2. estão plotados a localização destes pontos.

Tabela 3.1: Localização dos pontos de amostragem

Amostra	Coordenada UTM (23K)	Altitude (m)
01	305585 mS; 7800621 mW	1354
02	306205 mS; 7799701 mW	1315
03	306253 mS; 7799747 mW	1290

Fonte: Autoria própria



Figura 3.1: Vista frontal da mina de fosfato  
Fonte: Matos Neto (2013)

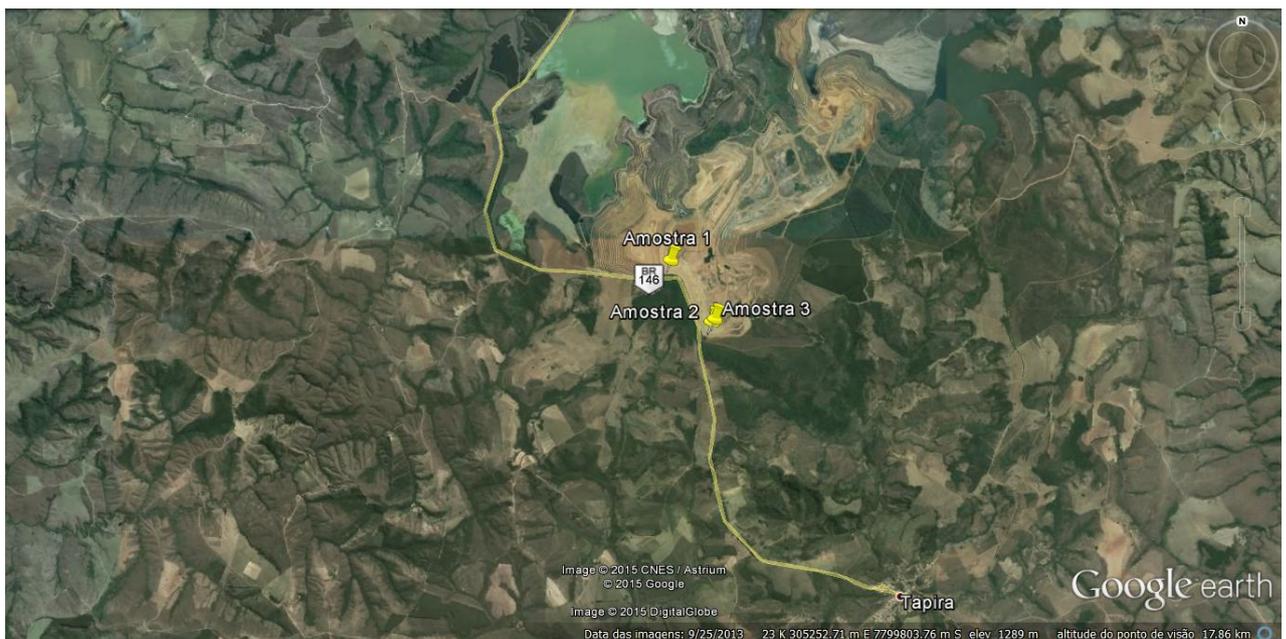


Figura 3.2: Localização dos pontos de amostragem  
Fonte: Google Earth

### 3.2 Caracterização física

Os ensaios de caracterização física foram realizados no laboratório de beneficiamento de minério do Campus Cefet Araxá. As amostras foram utilizadas sem nenhum beneficiamento, passando apenas por secagem à temperatura

ambiente, homogeneização, destorroamento manual e quarteamento, a fim de detectar quais as características do material *in natura*. As técnicas de caracterização escolhidas buscam principalmente a identificação da potencialidade de uso do material como adição pozolânica ou material cerâmico. Os testes realizados foram escolhidos de acordo com a representatividade de seus resultados e possibilidade de execução e disponibilidade de meios e tempo hábil para execução.

### 3.2.1 Análise Tátil visual

A primeira observação feita sobre o material permitiu uma análise inicial sobre a textura, granulometria e aparência física das amostras *in natura*.

### 3.2.2 Determinação de umidade

O teor de umidade é uma das exigências químicas da NBR 12653 (ABNT, 1992) para a utilização de materiais como adição pozolânica. O teor máximo de umidade que um material argiloso pode apresentar para tal utilização é de 3,00%

A umidade das amostras foi determinada de acordo com o anexo da NBR 6457 (ABNT, 1986). O teste foi repetido três vezes para cada amostra para melhor avaliação dos resultados.

Tomou-se 30 g de material, e posteriormente fez-se o destorroamento. Colocou-se o matéria em cápsulas metálicas fechadas com tampa para que não houvesse alteração da umidade. Pesou-se o conjunto, retirou-se a tampa e colocou-se a cápsulas em estufa a 105°C durante 24 horas. Transferiu-se então a cápsula com o material para o dessecador para que o mesmo atingisse a temperatura ambiente. A determinação de umidade foi feita de acordo com a equação 3.1.

$$h = \frac{m1 - m2}{m2 - m3} \times 100$$

(3.1)

Onde,

$h$  = teor de umidade, em %

$m_1$  = massa do material úmido mais a massa da cápsula, em gramas

$m_2$  = massa do material seco mais a massa da cápsula, em gramas

$m_3$  = massa da cápsula com tampa, em gramas.

### 3.2.3 Perda ao fogo

Pesou-se 1,00 g de cada amostra em cadinho de porcelana previamente pesado e colocou-se na mufla com dimensões internas de 200x150x150mm (Figura 3.3) na temperatura de 950 °C durante 15 minutos, de acordo com a Norma 18 (Mercosul, 2004). Após esse tempo o cadinho foi retirado e colocado para esfriar em um dessecador (Figura 3.4) para que não absorvesse umidade do ambiente e pesado novamente.



Figura 3.3: Mufla utilizada no ensaio de perda ao fogo

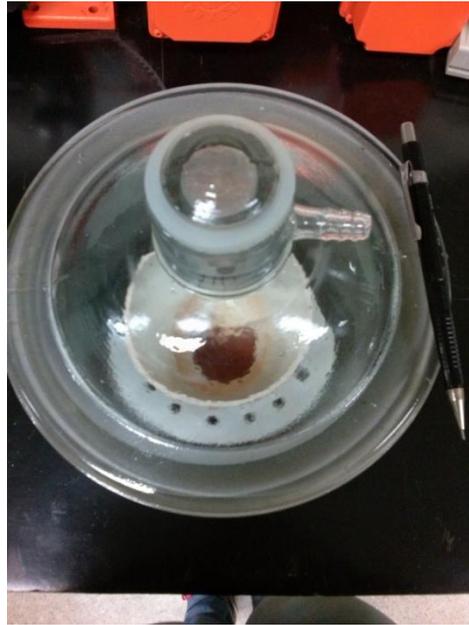


Figura 3.4: Amostra colocada no dessecador após ensaio de perda ao fogo

Calculou-se a perda ao fogo pela equação 3.2.

$$PF = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

$m_1$ , é a massa do cadinho mais a massa de amostra ensaiada, em gramas;

$m_2$ , é a massa do cadinho mais a amostra, após a calcinação, em gramas;

$m$ , é a massa de amostra utilizada no ensaio, em gramas.

### 3.2.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica por peneiramento a seco foi realizada no campus IV – Araxá do CEFET-MG. A classificação por peneiramento foi executada fazendo uma adaptação da NBR 7181(ABNT,1984)com variação apenas do conjunto de peneiras utilizadas Para a análise granulométrica utilizou-se uma alíquota de 1000,00 g de cada amostra, pois os grãos maiores contidos na amostra determinados por observação visual eram menores que 5,00 mm, como determina a norma NBR 6457 (ABNT, 1984), que determina a preparação de amostras para testes.

Peneirou-se manualmente o material na peneira de abertura 2,00 mm e tomou-se 120,00 g do passante para execução do peneiramento fino NBR 7181(ABNT, 1984).

Na execução do peneiramento fino (Figura 3.5) primeiramente lavou-se o material na peneira de 0,075 mm. O retido foi peneirado com o auxílio de um agitador mecânico nas peneiras 1,19, 0,59, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm.



Figura 3.5: Peneiramento fino

O retido na peneira de 2,00 mm foi peneirado nas peneiras de abertura 9,52 e 4,76 mm, constituindo o peneiramento grosso (Figura 3.6). A norma NBR 7181 determina que nesta etapa sejam utilizadas também as peneiras de abertura 50,8, 38,1, 25,4 e 19,1 mm, porém nos ensaios utilizou-se apenas as citadas pelo fato de que o material passa completamente pelas peneiras mais de maior abertura. Em ambos os casos o conjunto de peneiras foi acoplado agitador mecânico durante 15 minutos com uma frequência de 3600vpm (vibrações por minuto).



Figura 3.6: Peneiramento grosso

### 3.2.5 Limite liquidez e plasticidade

Para a execução dos ensaios para determinação dos limites de liquidez e plasticidade foram utilizadas aproximadamente 200,00 g de cada amostra (Figura 3.7), passante na peneira de abertura 0,42 mm, como determina a NBR 6457(ABNT, 1986). Para estes testes foram feitas uma duplicata de cada amostra, pois a realização dos ensaios apresenta-se de maneira bastante intuitiva.



Figura 3.7: Amostras peneiradas na peneira de abertura 0,42 mm para ensaio de LL e LP

Para teste do limite de plasticidade adicionou-se água à amostra aos poucos homogeneizando o material com uma espátula. À medida que se adicionou água, foram tomados uma pequena quantidade de material (cerca de 10,00 g), moldando-o manualmente até formar uma bola. Posteriormente a bola foi rolada sobre uma placa de vidro esmerilada até que se formasse um cilindro com espessura de 3,00 mm e 10,00 cm de comprimento (Figura 3.8), sendo necessário que o cilindro não se fragmentasse antes de atingir tais dimensões, de acordo com a NBR 7180 (ABNT,1984). Após atingir a dimensão desejada o material foi colocado em cápsulas de alumínio e seco em estufa à temperatura de 60°C para determinação da umidade do material.



Figura 3.8: Cilindro formado no ensaio de LP

O material utilizado no teste de limite de liquidez foi o restante do utilizado no teste de limite de plasticidade. Adicionou-se o material à concha do aparelho de

Casagrande (Figura 3.9) até que a parte central atingisse a espessura de 10 mm. A massa de material foi dividida em duas partes com o cinzel, abrindo uma ranhura na parte central (Figura 3.10), como determina a NBR 6459 (ABNT,1984).



Figura 3.9: Aparelho de Casagrande e cinzel

Fonte: Autoria própria



Figura 3.10: Massa dividida pelo cinzel

Fonte: Autoria própria

Girou-se então a manivela do aparelho de Casagrande, golpeando a concha contra a base à uma razão de 2 golpes por segundo, até que as bordas se unissem ao longo de 13 mm aproximadamente com aproximadamente 35 golpes (Figura 3.11), de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 1984).

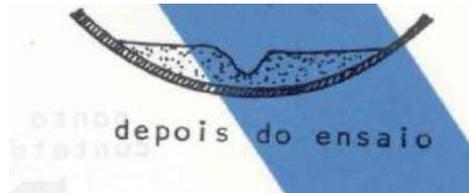


Figura 3.11: Massa após o ensaio de limite de liquidez

Fonte: NBR 6459 (ABNT,1984)

Posteriormente o material foi retirado da concha e colocado em cápsulas de alumínio e seco da mesma maneira que no teste de limite de plasticidade (Figura 3.12).



Figura 3.12: Material nas cápsulas após secagem

Fonte: Autoria própria

A matéria prima ideal para ser utiliza como cerâmica vermelha, 30 a 60% para o LL, 15 a 30% para o LP (MACEDO et. al., 2007).

O índice de plasticidade (IP) é a diferença entre limites de plasticidade e liquidez. Caso o IP seja igual a 0, o material é classificado como não plástico; um IP entre 1 e 7 classifica o material como fracamente plástico; um IP entre 7 e 15 classifica o material como mediamente plástico e um IP maior que 15 classifica-o como altamente plástico.

Capitaneo et. al. (2002) afirma índices de plasticidade abaixo de 10 pode ser problemático, pois uma pequena variação no teor de água de conformação pode acarretar em mudança na consistência da argila ou massa cerâmica. Quanto maior o índice de plasticidade, maior é a plasticidade e a faixa de consistência de uma argila ou massa.

### 3.3 Caracterização química

As análises de caracterização química por fluorescência de raios-x foram realizadas no Laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais do Campus do CEFET MG Campus I em Belo Horizonte, devido à falta dos equipamentos necessários para as análises no Campus Araxá. Foi utilizado um equipamento da marca SHIMADZU modelo EDX-720 (Figura 4.13). O material utilizado foi o passante na peneira de abertura 0,074 mm, nº 200 da ABNT.



Figura 3.13: Espectrômetro utilizado para realização da fluorescência de raios-x

Fonte: Matos Neto (2013)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização Física

#### 4.1.1 Análise Tátil visual

As amostras apresentam entre si diferenças de coloração e textura. Todas apresentam alto grau de intemperismo, pois foram coletadas nas regiões mais superficiais da mina. A amostra 1 (Figura 4.1) apresenta coloração mais vermelha que as demais, algumas partículas visíveis, sendo de granulometria heterogênea identificada visualmente e textura mais áspera. A amostra 2 (Figura 4.2) possui coloração amarelo escuro e textura mais sedosa ao tato que a amostra 1, além disso, possui odor característico de material argiloso. A amostra 3 (Figura 4.3) possui cor semelhante à amostra 2, porém com tonalidade mais clara. Esta amostra é também sedosa ao tato e a que mais apresenta odor característico ao de argila. Em todas as amostras as partículas maiores se fragmentam com facilidade, indicando que caso seja necessário a execução de cominuição, tal procedimento será feito com facilidade.



Figura 4.1: Amostra 1

Fonte: Autoria própria



Figura 4.2: Amostra 2

Fonte: Autoria própria



Figura 4.3: Amostra 3

Fonte: Autoria própria

#### 4.1.2 Determinação de umidade

Após a execução dos ensaios calculou-se a umidade de cada material. A umidade de cada amostra corresponde à média dos três ensaios realizados para cada uma delas. Os resultados são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Teor de umidade das amostras

	Umidade (%)			
	Teste A	Teste B	Teste C	Média
Amostra 1	1,87	1,69	1,89	1,82
Amostra 2	2,02	1,98	2,09	2,03
Amostra 3	1,77	1,80	1,91	1,83

Fonte: Autoria própria

Para todas as amostras o teor de umidade é menor que 3,00%. Assim todas elas enquadram na exigência de umidade para uso como material pozolânico.

#### 4.1.3 Perda ao fogo

Após a execução dos testes, calculo-se a perda ao fogo percentual. Os resultados são expressos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Resultado dos testes de perda ao fogo

Número da amostra	Cadinho vazio (g)	Amostra (g)	Cadinho+amostra (g)	Cadinho+amostra após a queima (g)	% de perda
1	131,47	1,00	132,47	132,35	12,00
2	131,47	1,00	132,47	132,35	12,00
3	131,47	1,00	132,47	132,38	9,00

Fonte: Autoria própria.

As amostra 1 e 2 apresentam um teor de matéria orgânica superior ao da amostra 3, pois localizam-se em um horizonte do solo mais superficiais

Apenas a amostra 3 se enquadra nas exigências da norma para utilização como pozolana, já que de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992) a perda ao fogo máxima para a utilização de argilas como pozolana é de 10%

Para a utilização como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha todas as amostras enquadram-se nos parâmetros máximos de perda ao fogo. Macedo et. al. (2008) em seu estudo sobre argilas vermelhas afirma que argilas utilizadas na produção tem até 16% de perda ao fogo.

Mesmo que o objetivo de tal teste não seja a determinação da cor no pós-queima, foi possível observar que todas as amostras apresentaram coloração avermelhada após a queima na mufla, causada pelo alto teor de ferro. Sales Júnior (2008) observa que a cor pós queima é uma das mais importantes classificações para o material argiloso

#### 4.1.4 Análise granulométrica

A partir do peneiramento das amostras obteve-se a sua distribuição granulométrica. Não foi elaborada a curva granulométrica para o peneiramento grosso, pois este foi realizado apenas para indicar qual a porcentagem de partículas consideradas grosseiras. O material com granulometria acima de 2 mm compreende 31,40%, 41,08% e 58,90% para as amostras 1, 2 e 3, respectivamente. Dessa forma, percebe-se que o maior percentual de material grosseiro para a terceira amostra se dá devido ao seu menor grau de intemperismo em relação às demais.

Para o peneiramento fino foram construídas as Tabelas 4.3 e 4.4, 4.5 representando o material em cada peneira. A partir desses dados foram geradas as curvas granulométricas para cada peneiramento fino (Figura 4.4).

Tabela 4.3: Análise granulométrica do peneiramento fino da amostra 1

Amostra 1						
Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	Retido simples (%)	Retido acumulado (%)	Passante acumulado (%)	
20	0,84	31,00	26,20	26,20	73,80	
25	0,71	11,50	9,72	35,93	64,07	
35	0,50	20,70	17,50	53,42	46,58	
60	0,42	17,10	14,45	67,88	32,12	
100	0,25	17,40	14,71	82,59	17,41	
200	0,15	12,50	10,57	93,15	6,85	
200	0,075	8,10	6,85	100,00	0,00	
Total		118,30	100,00			

Fonte: Autoria própria

Tabela 4.4: Análise granulométrica do peneiramento fino da amostra 2

Amostra 2					
Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	Retido simples (%)	Retido acumulado (%)	Passante acumulado (%)
20	0,84	29,70	25,00	25,00	75,00
25	0,71	9,10	7,66	32,66	67,34
35	0,5	14,00	11,78	44,44	55,56
60	0,42	12,40	10,44	54,88	45,12
100	0,25	19,20	16,16	71,04	28,96
200	0,15	22,90	19,28	90,32	9,68
-200	0,075	11,50	9,68	100,00	0,00
Total		118,80	100,00		

Fonte: Autoria própria

Tabela 4.5: Análise granulométrica do peneiramento fino da amostra 3

Amostra 3					
Peneira (#)	Abertura (mm)	peso retido (g)	retido simples (%)	retido acumulado (%)	passante acumulado (%)
20	0,84	32,20	26,99	26,99	73,01
25	0,71	8,60	7,21	34,20	65,80
35	0,5	16,50	13,83	48,03	51,97
60	0,42	15,10	12,66	60,69	39,31
100	0,25	19,40	16,26	76,95	23,05
200	0,15	18,60	15,59	92,54	7,46
200	0,075	8,90	7,46	100,00	0,00
		119,30	100,00		

Fonte: Autoria própria

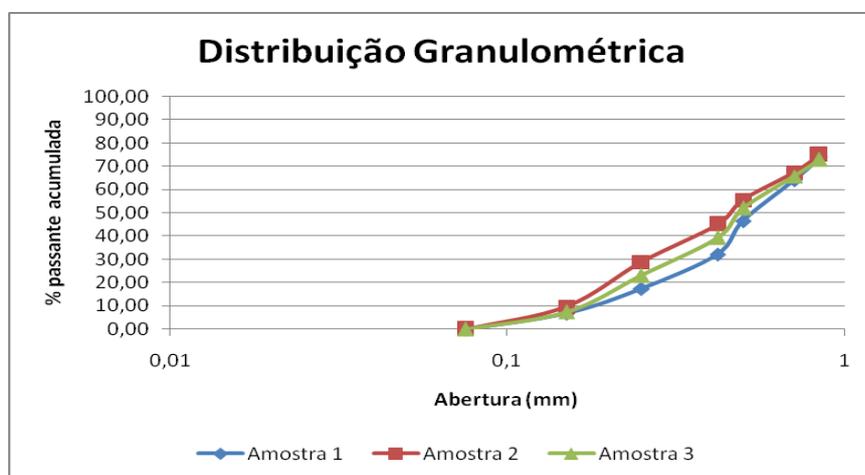


Figura 4.4: Curvas de distribuição granulométrica

Fonte: Autoria própria

Analisando as curvas de distribuição granulométrica percebe-se que a amostra 1 apresenta-se mais grosseira, em seguida a amostra 3 e a 2 apresentam granulometria mais fina.

As curvas apresentam formatos semelhantes, indicando que as distribuições granulométricas dos materiais são também semelhantes.

#### 4.1.5 Limite de plasticidade, liquidez (LP, LL) e índice de plasticidade (IP)

Após o ensaio de determinação do LP e secagem das amostras calculou-se a umidade do material. Os resultados são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Resultado do teste de LP

Amostra	Cápsula vazia (g)	Cápsula +material úmido (g)	Capsula +material seco (g)	LP (%)
1a	10,71	17,71	15,3	34,43
1b	10,52	15,52	13,84	33,60
2a	10,33	16,6	14,8	28,71
2b	10,66	18,32	16,02	30,03
3a	10,33	18,43	16,07	29,14
3b	10,41	16,98	15,12	28,31

Fonte: Autoria própria

A médias do LP para as amostras 1, 2, e 3 são respectivamente 34,01, 29,37 e 28,72 %. O motivo da diferença de plasticidade da amostra 1, apesar de suas distribuições granulométricas tão semelhantes e composição mineralógica similar, está provavelmente associado à sua maior teor de matéria orgânica.

Apenas as amostras 2 e 3 enquadram-se nos parâmetros para a utilização como cerâmica vermelha (15 a 30%), porém estando bem próximo do limite máximo para esta utilização.

A Tabela 4.7 mostra os resultados obtidos após a execução dos ensaios de LL.

Tabela 4.7: Resultado do teste de LL

Amostra	Cápsula vazia (g)	Cápsula +material úmido (g)	Cápsula +material seco (g)	LL (%)
1a	16,11	75,45	53,74	36,59
1b	9,82	65,36	45,25	36,21
2a	10,42	70,72	49,11	35,84
2b	18,55	78,95	60,02	31,34
3a	10,55	77,99	54,51	34,82
3b	10,11	86,18	62,14	31,60

Fonte: Autoria própria

As médias do LL para as amostras 1, 2, e 3 são respectivamente 36,40, 33,62 e 33,21 %. Assim, todas as amostras se enquadram nos parâmetros para a utilização como argila vermelha (30 a 60%).

O IP e classificação para cada amostra é apresentado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: IP e classificação das amostras

Amostra	IP(LL-LP)	Classificação
1	2,39	Fracamente plástico
2	4,25	Fracamente plástico
3	4,49	Fracamente plástico

Fonte: Autoria própria

Percebe-se que a amostra 1 é menos plástica e a 3 a mais plástica. As amostras 2 e 3 tem IP semelhantes provavelmente devido à suas composições químicas mais próximas entre si que em relação a amostra 1.

## 4.2 Caracterização química

### 4.2.1 Fluorescência de raios-x

Os resultados representativos obtidos através da fluorescência, que representam a composição química na forma de óxidos estão representados na Tabela.4.9.

Tabela 4.9: Composição química obtida pela fluorescência de raios-x

Composição	Am1	Am2	Am3	Am7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45,59%	44,38%	50,74%	15,35%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,00%	20,83%	10,48%	32,29%
SiO <sub>2</sub>	11,34%	18,72%	13,66%	44,53%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	3,24%	4,71%	-
TiO <sub>2</sub>	5,62%	5,82%	7,88%	2,75%
ZrO <sub>2</sub>	0.51 %	-	1,00%	0.17 %
SrO	0.19 %	0.99 %	0.78 %	0.99 %
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24 %	-	-	0.12 %
CaO	0.12 %	0.96 %	4,7%	-
NbO	0.12 %	0.30 %	0.35 %	0.01 %
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07 %	-	-	0.05 %
CuO	0.03 %	-	0.13 %	0.03 %
BaO	-	2,83%	2,67%	-
K <sub>2</sub> O	-	0.38 %	1,56%	4,48%
MnO	0.11 %	0.33 %	0.84 %	0.07 %
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.33 %	-	-
ZnO	-	0.06 %	0.06 %	0.03 %
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	0.06 %
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02 %	0.06 %	0.06 %	0.02 %
TOTAL	98,55%	95,82%	97,41%	99,41%

Fonte: Autoria própria

Percebe-se que os principais componentes de todas as amostras são o ferro, alumínio e silício. A soma de tais óxidos são respectivamente 92,93%, 83,93% e 74,88% para as amostras 1, 2 e 3, valores maiores que 70,00%, atendendo ao critério de utilização como material pozolânico de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992).

A amostra 1 possui maior quantidade de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dentre as analisadas (36,00%). Para Zampieri (*apud* CHRISTÓFOLLI 2010), as argilas com maiores teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resultam num material com maior atividade pozolânica, pois indicam maiores quantidades de caulinita, que é o argilomineral potencialmente ativado pelo

tratamento térmico. De acordo com Sales Júnior (2008), materiais com caulinita como principal argilomineral são bastante interessantes para fabricação de materiais refratários. A amostra 1 é também a que mais se aproxima da utilizada para comparação pela quantidade de alumínio, com uma diferença de 3,71% neste componente.

Dentre as amostras coletadas percebe-se que a amostra 3 possui maior quantidade de  $\text{SiO}_2$ . Zampieri (*apud* CHRISTÓFOLLI 2010) descreve que quanto maior o teor de  $\text{SiO}_2$ , maior é a presença de materiais com pouca atividade pozolânica, como o quartzo.

. Outra semelhança entre a amostra 1 e a utilizada como referência é o fato de que apenas as duas contêm  $\text{V}_2\text{O}_5$  na composição.

Quanto à quantidade de ferro, todas as coletadas na mineradora possuem maiores quantidades que a utilizada pela fábrica de tijolos. O teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é relativamente alto em todas as amostras, que sugere a indicação destas argilas para a fabricação de produtos cerâmicos com cor de queima mais avermelhada.

A amostra 3 possui um valor de CaO (4,71%), mais altos que as demais, indicando maiores quantidades de carbonatos. Segundo Sales Júnior (2008), tal componente age como fundente e ajudam a baixar a temperatura de sinterização da massa cerâmica.

O maior teor de óxido potássio  $\text{K}_2\text{O}$ , de acordo com Capitaneo et. al. (2002), é proveniente da mica muscovita/ilita e do feldspato potássico existente na amostra comparativa. Dentre os estudados o que possui maior teor deste componente é a amostra 3. A presença deste óxido é importante, pois contribui para a formação de fase líquida que possibilita a densificação do material quando usado como matéria-prima em produtos cerâmicos. A amostra 1 já não possui mais este constituinte, provavelmente devido à ação do intemperismo. O mesmo deve ter ocorrido com os demais componentes existentes nos demais materiais coletados e ausentes nesta amostra.

## 5 CONCLUSÃO

As técnicas utilizadas neste trabalho foram eficientes e os objetivos iniciais do trabalho de caracterização foram alcançados. Todas as suposições levantadas com base nos resultados da caracterização evidenciam a importância da adequada caracterização das matérias-primas

Quanto ao uso como material cerâmico percebe-se o potencial para uso como cerâmica vermelha em todas as amostras pela coloração avermelhada apresentada por todas elas após o ensaio na mufla.

Embora através do ensaios de determinação do LL e LP o IP obtido em todas as amostras classifique-as como fracamente plástica, durante a execução de tais ensaios percebeu-se certa facilidade na moldagem dos materiais, sendo a amostra 1 a mais difícil de manusear. Tal fato indica que se corretamente trabalhado, há possibilidade de utilização em processos que requerem moldagem.

Quanto à granulometria, a existência de grande quantidade de material considerado grosseiro sugere que o material necessita de operação de cominuição para adequação da granulometria para utilização.

Embora as técnicas utilizadas para caracterização tenham sido eficazes a fim de conhecer o material, não pode-se afirmar que os mesmos atendem a todos os critérios para utilização como adição pozolânica ou material cerâmico. Os resultados mostram que todas as amostras possuem características favoráveis e desfavoráveis para utilização em ambas as formas de utilização. Mesmo não podendo indicar claramente uma possível utilização para o estéril existente na jazida, os estudos foram importantes para oferecer informações iniciais que possam direcionar futuras pesquisas.

Para melhor conhecimento das características através de trabalhos futuros de pesquisa e caracterização se fazem necessários ensaios de granulometria a *laser*, difratometria de raios-x para conhecimento da mineralogia, análise micro estrutural através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), determinação de

comportamento através de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG) e outros que se fizerem necessários. Tais ensaios não foram feitos neste trabalho devido à falta de material em quantidade necessária e disponibilidade de tempo e equipamentos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. - NBR 6457. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. - NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. - NBR 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. - NBR 7181. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. - NBR 12653. Materiais Pozolânicos - Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

AMN - ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO - NM 18: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. São Paulo, 2004.

ARAUJO, R. V. V.et. al. Produção de Fosfato no Brasil: Complexo de Mineração de Tapira / Fosfertil. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 19, 2002, Pernambuco. **Anais**. Pernambuco: CETEM, 2002.

BEZERRA, M. A.; BROD, J. A. Mineralogia da Apatita do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis. Anais eletrônicos... São Paulo : SBPC/UFSC, 2006. Disponível em: <[http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/MATEUS\\_ARAUJO\\_B\\_BEZERR](http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/MATEUS_ARAUJO_B_BEZERR)>. Acesso em: 10 abr 2015.

BRANCO, P. M. Minerais Argilosos. **Canal Escola**. 2009. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1255&sid=129>> . Acesso em: 29 abr. 2015.

CAPITANEO, J. L.; et. al. Caracterização Tecnológica de Argila Branca do Município de Silva Jardim-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2010, Natal. Anais. Natal: UFRN, 2002. p.173-179.

CHRISTÓFOLLI, J. L. **Estudo de argilas calcinadas para produção de cimento Portland pozolânico na região de Curitiba, Paraná – Brasil.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. Dissertação de mestrado.

COELHO, A. C. V.; SANTOS, P. S.; SANTOS, H. S. Argilas Especiais: O Que São, Caracterização e Propriedades. **Química Nova**, São Paulo, vol. 30, n. 1, p. 146-152, 2007.

DANA, J. D.; HURLBUT, C. S. Manual de mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. v. 2, 642 p. Rio de Janeiro. 1976.

DUTRA, L. P. S. et. al. Avaliação da Potencialidade de Argilas do Rio Grande do Norte – Brasil. **Cerâmica Industrial**, Natal; v. 11, p. 42-46, mar. 2006.

[http://geomuseu.ist.utl.pt/BIMineral/BI%20Finalizados%20\(SEM%20REVIS%C3O\)/Lepidolite/Figuras%20Lepidolite/](http://geomuseu.ist.utl.pt/BIMineral/BI%20Finalizados%20(SEM%20REVIS%C3O)/Lepidolite/Figuras%20Lepidolite/). Acesso em 02 mai 2015.

<http://www.seara.ufc.br/sugestoes/quimica/quimica027.htm>. Acesso em 15 jun 2015.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Tapira\\_\(Minas\\_Gerais\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tapira_(Minas_Gerais)). Acesso em 22 abr 2015.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J. A. M. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, 2001.

MACEDO, R. S.; et. al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha, **Cerâmica**, Campina Grande, n. 54, p. 411-417, 2008

MATOS NETO, J. A. **Caracterização de estéril argiloso para utilização como pozolana.** Ouro Preto: REDEMAT. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

MATOS NETO, J. A.; et. al. Pozolana de esteril argiloso da mineração de fosfatados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21, 2014, Cuiabá, **Anais**. p. 1174 – 1184.

NASCIMENTO FILHO, V. S. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)**. Fortaleza: UFC, 1999. 63 p.

NEUMANN, R.; SCHNEIDER, C. L.; ALCOVER NETO, A. Caracterização Tecnológica de Minérios. **Tratamento de Minérios**. 3 ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2002. p. 55 – 109.

PRADO, C. M. O. **Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no estado de Sergipe**. São Cristóvão. Universidade Federal de Sergipe. 2011. Dissertação de mestrado.

RESENDE, M.; et. al. **Mineralogia de Solos Brasileiros: Interpretação e Aplicações**. Lavras: UFLA, 2005. 201 p.

RANIERI, M. G. A. **Caracterização tecnológica das argilas da cidade de Cunha para fins de cerâmica artística**. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista. 2007. Dissertação de mestrado.

SALES JÚNIOR, J. C. C. **Avaliação da potencialidade de argilas de queima clara como matérias-primas para o desenvolvimento de novos produtos cerâmicos**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008. Dissertação de mestrado.