

VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DAS COBERTURAS ARGILOSAS DA REGIÃO DE ALFENAS NA INDÚSTRIA CERÂMICA

Lineo Aparecido GASPAR JUNIOR ¹, Angélica Fortes Drummond Chicarino VARAJÃO ²,
Rafael Gonçalves SANTOS ¹, Maria Margarita Torres MORENO ³,
Maria de Fátima Rodrigues SARKIS ¹

(1) Instituto de Ciências da Natureza, Universidade Federal de Alfenas, Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 – Centro. CEP 37130-000. Alfenas, MG. . Endereços eletrônicos: lineo.gaspar@unifal-mg.edu.br;

faelgeo89@hotmail.com; sarkis@unifal-mg.edu.br

(2) Departamento de Geologia, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto / Campus Morro do Cruzeiro. CEP 35400-000. Ouro Preto, MG. Endereço eletrônico: angelica@degeo.ufop.br

(3) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista / Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: mmoreno@rc.unesp.br.

Introdução
Contexto Geológico
Metodologia
Resultados e Discussões
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – A região de Alfenas-MG é constituída por rochas pré-cambrianas com perfis de alteração bem desenvolvidos em associação com sedimentos colúvios-aluvionares. Estes materiais nunca foram alvo de um estudo detalhado para determinar a sua potencialidade na indústria cerâmica. O escasso conhecimento de suas propriedades mineralógicas e tecnológicas limita sua valorização e, conseqüentemente, o seu aproveitamento industrial. Neste trabalho amostras de argila selecionadas foram analisadas mineralogicamente (Descrição Macroscópica e Difração de Raios X), quimicamente (elementos maiores por Fluorescência por Raios X e Análise de Carbono Orgânico) e tecnologicamente (ensaios de Distribuição Granulométrica de Prensagem; Módulo de Ruptura à Flexão; Absorção de Água, Porosidade Aparente; Retração Linear de Queima; Cor de Queima, entre outros) para se conhecer a matéria-prima da região em questão e desenvolver aplicações tecnológicas adequadas. Os melhores resultados das propriedades cerâmicas foram os obtidos para as amostras com maiores quantidades de matéria orgânica, maiores valores de Al_2O_3 (caulinita + gibbsita) e Fe_2O_3 , menor teor em SiO_2 , e uma granulometria fina, que contribuiu para uma melhor sinterização.

Palavras-chave: argila, caulinita, cerâmica vermelha.

ABSTRACT – L.A. Gaspar Junior, A.F.D.C. Varajão, M.M.T. Moreno, M.F.R. Sarkis, R.G. Santos - Viability of the application of the clay coverings from Alfenas region on ceramic industry. The region of Alfenas, in the state of Minas Gerais, Brazil, is predominantly constituted of Pre-Cambrian rocks with well developed alteration profiles in association with colluvial and alluvial sediments. No study to date has examined in detail its potential use in the ceramic industry. The scarce knowledge of its mineralogical and technological properties limits its value and consequently its industrial use. Until now, these clay materials have been used in a rudimental manner, in small scale in the fabrication of red tiles. The present study aimed at analyzing these clays mineralogically (X-ray diffraction), chemically (major and minor elements by X-ray fluorescence and organic carbon analysis) and technologically (pressing granulometric distribution; mechanical resistance; water absorption, apparent porosity; linear firing shrinkage; color of firing and others) in order to better understand the raw material and develop adequate technological applications. The best results of ceramic properties were the samples with higher organic content (more plastic clays) and higher values of Al_2O_3 (kaolinite and gibbsite) and Fe_2O_3 as well lower SiO_2 content and finer grain size which contribute to a better sinterization.

Keywords: clay, kaolinite, traditional ceramic industry.

INTRODUÇÃO

A região de Alfenas ocupa o setor central da Província Tectônica Mantiqueira, situando-se a sul do Cráton do São Francisco e esta inserida no limite norte da Cunha de Guaxupé, de formato triangular, encontrada no sul de Minas Gerais (Hasui, 1988) É constituída predominantemente por rochas pré-cambrianas de alto grau metamórfico como hiperstênio

granulitos, granulitos básicos, gnaisses graníticos bandados em associação com rochas neopaleozóicas e sedimentos colúvio-aluvionares do Quaternário e coberturas pedológicas como latossolos e paleo-solos (Hasui et al., 1989).

Na região, devido a sua tectônica intensa, formaram-se grandes áreas de rebaixamento que foram

preenchidas por coberturas pedológicas e sedimentos quaternários provenientes das alterações de gnaisses e xistos do Complexo Varginha-Guaxupé (Hasui, 1988).

Trata-se de uma região muito desenvolvida no setor industrial e de ampla atividade agrícola e agropecuária. Entretanto, apesar da extensa presença de rochas pré-cambrianas com perfis de alteração bem desenvolvidos em associação com sedimentos colúvios-aluvionares estes materiais nunca foram alvo de um estudo detalhado para determinar a sua potencialidade

na indústria cerâmica. O escasso conhecimento de suas propriedades mineralógicas e tecnológicas limita sua valorização e, conseqüentemente, o seu aproveitamento industrial. Atualmente, os materiais argilosos são utilizados de maneira rudimentar, em pequena escala, na fabricação de cerâmica vermelha.

O presente trabalho consistiu em analisar mineralógicamente, quimicamente e tecnologicamente os materiais argilosos da região de Alfenas, visando o desenvolvimento de aplicações tecnológicas adequadas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Segundo Hasui et al. (1989) o sudoeste de Minas Gerais é composto por três associações de rochas: 1) Complexo Campos Gerais, 2) Complexo Varginha-Guaxupé e 3) Grupo Canastra.

Considerando estudos bibliográficos, a coluna lito-estratigráfica da área pode ser visualizada na Figura 1.

CENOZÓICO	Quaternário	Sedimentos aluvionares
	Neogeno	Coberturas indiferenciadas
	Paleogeno	
PROTEROZÓICO	Neoproterozóico	Grupo Canastra Complexo Varginha-Guaxupé
	Eoproterozóico	Complexo Campos Gerais

FIGURA 1. Coluna lito-estratigráfica da área estudada.

O Complexo Campos Gerais (Figura 2) foi definido por Cavalcante et al. (1979) como uma estreita faixa que encerra diversos tipos litológicos, compartimentados em grandes e pequenos blocos, tectonizados ao longo do Cinturão Campo do Meio ou zona rúptil Cássia-Barbacena de Wernick & Fiori (1981). A

distribuição desse Complexo limita-se a sul pelo Complexo Varginha-Guaxupé, a norte pelo Grupo Canastra e a leste pelo Complexo Barbacena. Segundo Zanardo et al. (1992) essas litologias podem ser agrupadas em três conjuntos: 1) migmatitos, ortognaisses e granitóides; 2) gnaisses com intercalações metassedimentares (quartzitos, gnaisses anfíbolíticos, granada micaxistos com ou sem cianita ou estaurolita e gonditos) e anfíbolitos; 3) seqüência vulcano-sedimentar tipo greenstone. O metamorfismo regional é de fácies anfíbolito, com retrometamorfismo e migmatização (Cavalcante et al., 1979; Morales, 1983).

O complexo Varginha-Guaxupé (Fonseca et al., 1979) corresponde a um bloco limitado a norte pela Zona de Cisalhamento Campo do Meio, a sul pela Zona de Cisalhamento Ouro Fino e a leste pelo Supergrupo Alto Rio Grande (Hasui & Oliveira, 1984). As rochas ortoderivadas encontradas nesse Complexo são hiperstênio-granulitos (charnockitos), granulitos alaskíticos (enderbitos), granulitos básicos, gnaisses graníticos bandados, metabásicas e metaultrabásicas. A essas rochas associam-se metassedimentos de alto grau, que foram separados no Grupo Caconde (Hasui & Costa, 1988): quartzitos, gnaisses, xistos diversos, mármore, etc. O conjunto de rochas ortoderivadas e de supracrustais é de fácies granulito, exibindo condições metamórficas nas fácies anfíbolito, em parte migmatizado (Oliveira et al., 1984).

O Grupo Canastra é formado por espesso pacote sedimentar com vulcânicas ou intrusivas associadas (Heilbron et al., 1987), assentado sobre rochas do embasamento, do Complexo Campos Gerais ou do Complexo Barbacena, através de extensa superfície de cavalgamento. Segundo Zanardo et al. (1992) a base deste grupo é formada por metassedimentos psamopelíticos com intercalações de metagrauvas, metacalcários, metamargas e possíveis metatufos. Com o aumento de psamitos, aparecem bancos de quartzitos, capeados por xistos com intercalações rítmicas de quartzitos, seguidos por gnaisses finos e xistos feldspá-

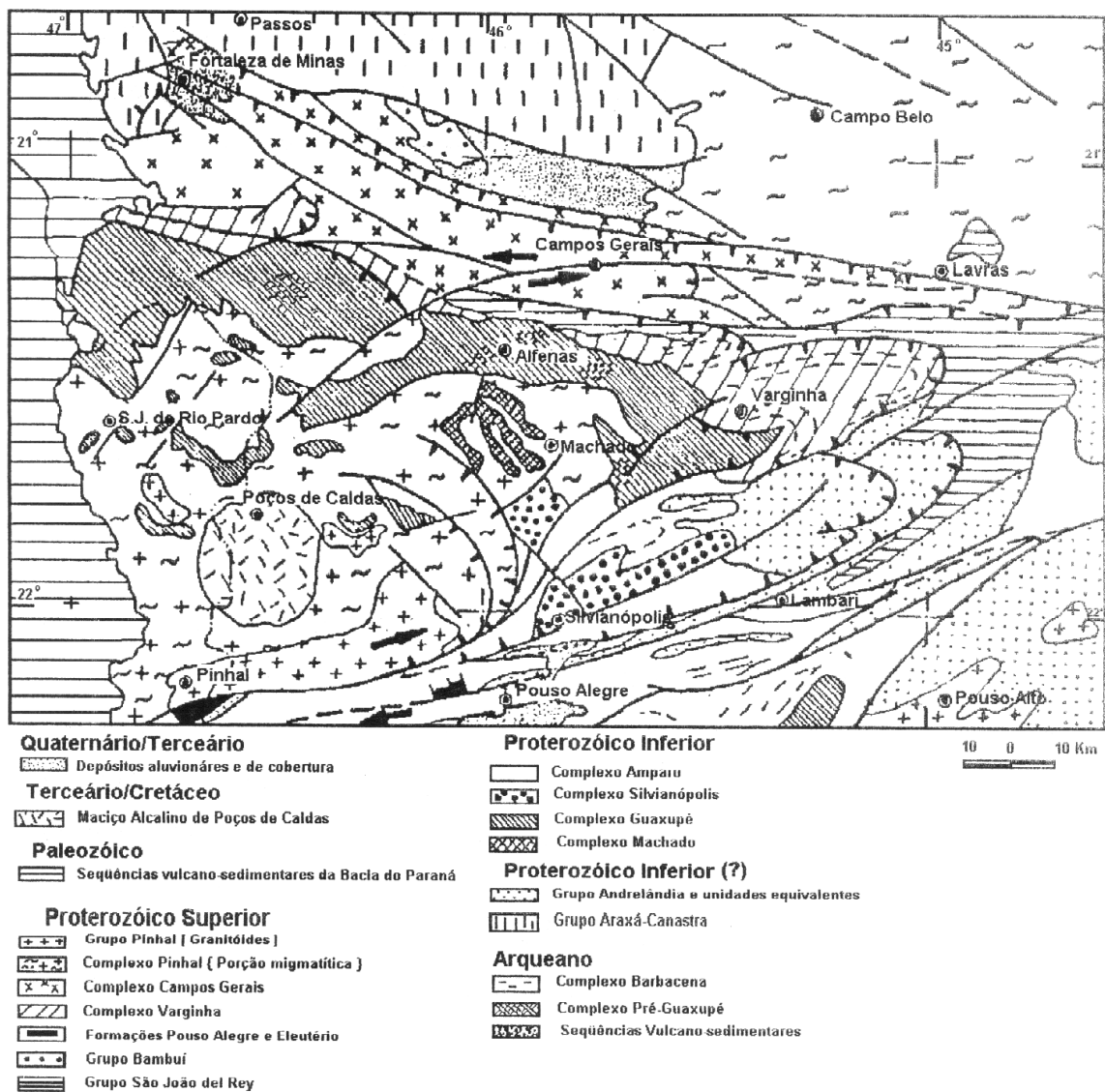


FIGURA 2. Mapa Geológico da área. Retirado de Almeida (1997).

tics, com intercalações ocasionais de anfibólio xistos. Sobrepostos à camada de gnaiss, ocorrem xistos ricos em granada, cianita e, às vezes, estaurolita, com intercalações de gnaisses graníticos, localmente com feições migmatíticas, anfibolitos, quartzitos, gnaisses aluminosos e mais raramente lentes de rochas calciossilicáticas, ultramáficas e possíveis formações ferríferas.

Sobre os gnaisses do Complexo Varginha-Guaxupé, na região, ocorrem espessas camadas de sedimentos areno-argilosos, avermelhados com fragmentos de quartzo e de laterita ocorrendo por toda

a área. Cavalcante et al. (1979) descrevem essas coberturas Cenozóicas como materiais argilo-arenosos com espessura em torno de 3 m com presença de uma linha de seixos basais com espessuras em torno de 10 cm formando colinas de perfis convexo bastantes suaves, ou em outros casos constituem extensas áreas aplainadas, pouco espessas e com grandes quantidades de clastos. Na área são frequentes depósitos de talus nos sopés das encostas, além de sedimentos de depósitos aluvionares. As amostras analisadas neste trabalho foram retiradas do Complexo Varginha Guaxupé.

METODOLOGIA

Os materiais argilosos da região de alfenas ocorrem em dois compartimentos geomorfológicos distintos: áreas de várzea e nas vertentes onde ocorrem

perfis de alteração desenvolvidos à partir dos gnaisses dos Complexos Varginha-Guaxupé. Nas áreas de várzea estes materiais apresentam coloração cinza

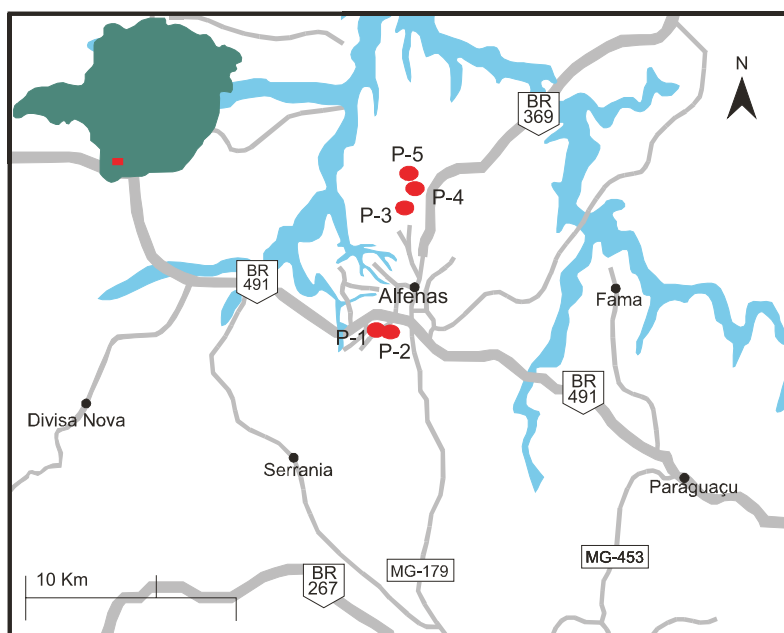


FIGURA 3. Mapa de coleta das amostras de argilas.

TABELA 1. Nomenclatura e localização das amostras utilizadas.

Ponto	Localização	Característica	Nomenclatura
1	Olaria do Geraldo. Rodovia Alfenas – Areado (BR-491), Km 3,	argila de várzea	P-1
2	Olaria São Francisco Rodovia Alfenas – Areado (BR, 491) Km 3	argila de várzea	P-2
3	Olaria do Gilson. Volta da Ferradura – Alfenas distrito de Gaspar Lopez	argila de perfil de alteração	P-3
4	Olaria da Fazenda da Conquista localizada a 3 km da estrada de Alfenas - Gaspar Lopez	argila de perfil de alteração	P-4
5	Olaria Ipanema localizada na estrada Alfenas - Gaspar Lopez	argila de perfil de alteração	P-5

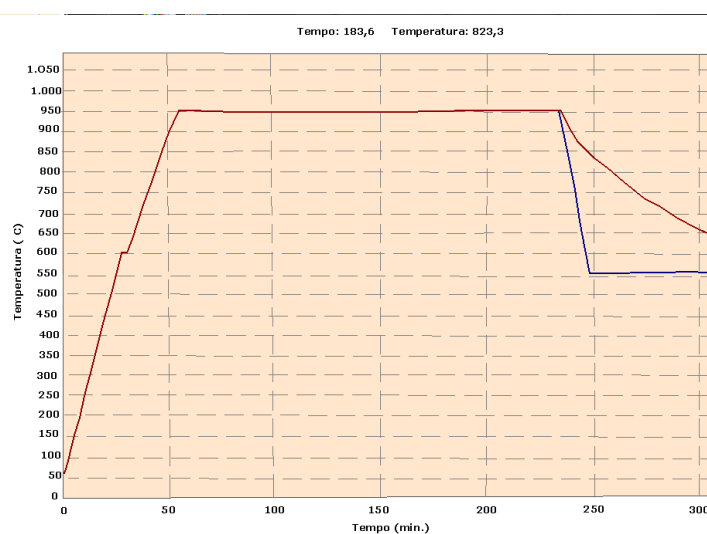


FIGURA 4. Curva de queima de Tempo X Temperatura do Forno Gradiente. Observa-se que o ciclo total são de 5 horas (300 min), demorando 50 min para o forno atingir a temperatura de queima de 950°C, ficando neste patamar durante 3 h (até 230 min) e depois ocorrendo o resfriamento das peças.

escura devido a maior concentração de matéria orgânica ao passo que nos perfis de solo apresentam cores amarelo-avermelhadas devido a presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Em ambas ocorrências, várias olarias encontram-se instaladas, dentre as quais, cinco, próximas à cidade de Alfenas (Figura 3), foram selecionadas para amostragem: duas da área de várzea (P1 e P2) e três dos perfis de alteração (P3, P4 e P5 (Tabela 1). Para cada um destes cinco pontos selecionados foram coletadas 3 kg de amostra que, depois de secas a temperatura ambiente, foram destorroadas, quarteadas e moídas em moinho de martelo acoplado com peneira de 1 mm de diâmetro.

As distribuições granulométricas das amostras foram determinadas utilizando-se as peneiras 30, 40, 60, 120 e 200 mesh. As frações retidas nas peneiras 30, 40 e 60 mesh foram analisadas macroscopicamente (lupa com aumento de 50x) quanto aos seguintes aspectos: mineralogia, coloração, estrutura e textura.

As análises mineralógicas por difração de Raios X foram obtidas utilizando os difratômetros SIEMENS D5000 (Laboratório de Mineralogia da UNESP – Rio Claro – SP) com radiação monocromática de $\text{CuK}\alpha$ e velocidade do goniômetro de $1.2^\circ 2\theta.\text{minuto}^{-1}$ e o difratômetro RIGAKU – Modelo Geigerflex CN D/MAX-B (Departamento de Geologia da Escola de Minas/UFOP – MG) com radiação monocromática de $\text{CuK}\alpha$ e velocidade do goniômetro de $0.6^\circ 2\theta.\text{minuto}^{-1}$, respectivamente para a amostra total e para a fração argila separada por sedimentação (Lei de Stokes). Os difratogramas obtidos na amostra total abrangem um intervalo de 2 a $70^\circ (2\theta)$ e das amostras orientadas da fração argila de 2 a $35^\circ (2\theta)$. Os difratogramas das amostras foram interpretados pelo programa Eva 2.0 da SIEMENS.

As análises químicas dos elementos maiores por espectrometria de fluorescência de Raios X, foram realizadas empregando-se amostras fundidas em matriz de borato, no equipamento da marca PHILIPS PW

2510 do Laboratório de Geoquímica da UNESP/Rio Claro - SP. A determinação do carbono orgânico foi realizada através da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio fortemente ácido e titulado com Fe^{++} (Método Walkley-Black, segundo EMBRAPA, 1999). O teor de matéria orgânica nos materiais argilosos da região é um dos fatores responsáveis pelas características plásticas do material e determinativo para sua possível utilização na indústria cerâmica. A obtenção dos valores de pH das amostras foram realizadas no Laboratório de Química Analítica da UNESP – Rio Claro, sendo estas diluídas em uma suspensão argilosa obtida quando duas gramas foram desagregadas em 250 ml de água destilada e medidas o seus valores através do Peagâmetro TM-35 pH Wert.

O Índice de Plasticidade foi determinado usando-se as amostras moídas em almofariz e passadas pela peneira de 40 mesh (0,425 mm). O índice de plasticidade foi obtido segundo as normas NBR 6454 e NBR 7180 da ABNT (1984), que consiste na diferença entre o limite de liquidez (separa o estado líquido do plástico) e o limite de plasticidade (separa o estado plástico do semi sólido). Esse índice define a zona em que a matéria-prima se encontra no estado plástico e, por ser, máximo nas argilas e nulo para as areias, constituindo um critério para se avaliar o caráter argiloso de uma massa cerâmica. Assim, quanto maior o índice de plasticidade, tanto mais plástica essa amostra será.

Para os ensaios tecnológicos cerâmicos foram confeccionados corpos de prova a partir das amostras totais com dimensões de $7 \times 2 \times 1$ cm, controlando a densidade aparente a cru ($\cong 2,00 \text{ g/cm}^3$) e o teor de umidade entre 8 a 10%, sendo queimados em laboratório, em forno gradiente, a temperatura de 950°C (com ciclo de queima de três horas), para simular as condições de queima nas olarias (Figura 4). Os corpos de prova queimados foram submetidos a ensaios de resistência mecânica, absorção de água, porosidade aparente, perda ao fogo, retração linear e cor de queima.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análises macroscópicas das amostras P1 e P2 (argilas de várzea) mostraram uma textura argilo-arenosa e composição de quartzo, mica (muscovita) e argilominerais. Os grãos de quartzo apresentam forma subangulosa a subarredondada e superfície polida a fosca em alguns cristais sugerindo um relativo transporte e retrabalhamento fluvial corroborando o trabalho de Suguio (1973).

As amostras P3, P4 e P5 (perfis de alteração) são também argilo-arenosas, diferenciando-se das amostras P1 e P2 pela presença de maiores concentrações de grãos angulares de quartzo, nos quais são

frequentes incrustações ferruginosas, de tonalidades vermelho a amarelado.

As análises mineralógicas por difração de Raios X da amostra total (Figura 5) mostraram a presença predominante de quartzo (pico principal de $3,35 \text{ \AA}$), sendo mais observado na amostra P5 sendo seguido pela amostra P2. O feldspato (pico principal de $3,18 \text{ \AA}$) é mais frequente na amostra P4, seguido pelas amostras P5 e P3 (amostras menos alteradas) e, nas amostras P1 e P2, aparece em pequena proporção. A muscovita é observada mais facilmente na amostra P3, seguida pelas amostras P4 e P5. A hematita aparece nitida-

mente na amostra P1. A gibbsita ocorre em picos mais elevados nas amostras P1, P2 e P4.

As análises mineralógicas por difração de Raios X da fração argila (Figuras 6 e 7) mostraram a caulinita como o argilomineral dominante (pico de 7Å), sendo constatada a presença de traços de esmectita em P1, P2 e P5 (14 Å) e relictos de ilita, esmectita e interstratificado ilita/esmectita nas amostras P3 e P4. A caulinita provavelmente é resultante do produto de alteração de feldspatos e outros minerais aluminossilicatados (Suguio, 2003) dos gnaisses e xistos do Complexo Varginha-Guaxupé presentes na região.

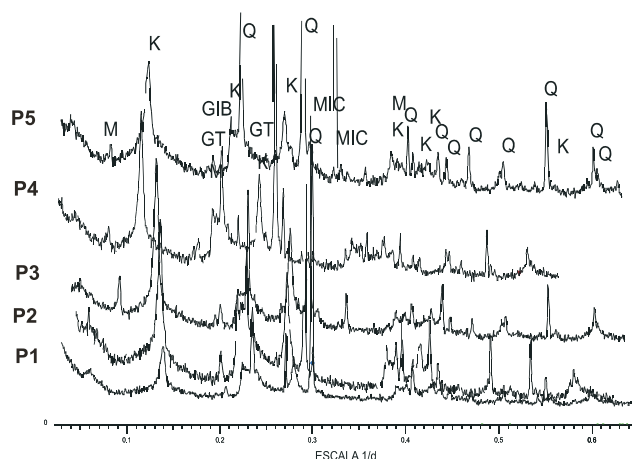


FIGURA 5. Difratomogramas (radiação CuK α) superpostos de amostras totais, onde nota-se a presença de quartzo (Q), feldspato (MIC), muscovita (M), caulinita (K), hematita (H), gibbsita (GIB) e goethita (GT).

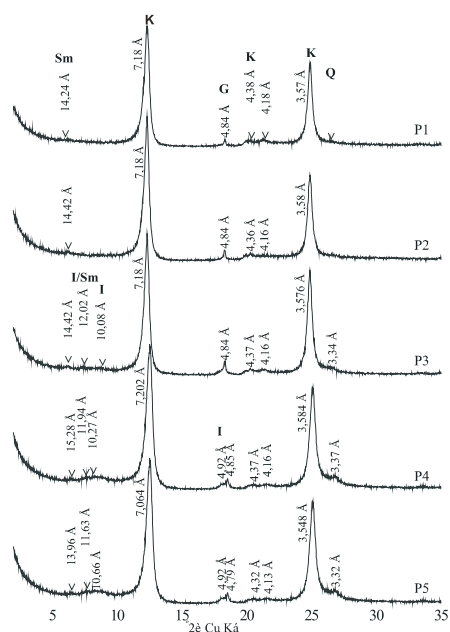


FIGURA 6. Difratomogramas superpostos da fração argila (<2µm) das amostras naturais (CuK α), onde observa-se a caulinita como argilomineral dominante, sendo Q = quartzo, G = gibbsita, K = caulinita, Sm = esmectita e I/Sm = interstratificado ilita/esmectita.

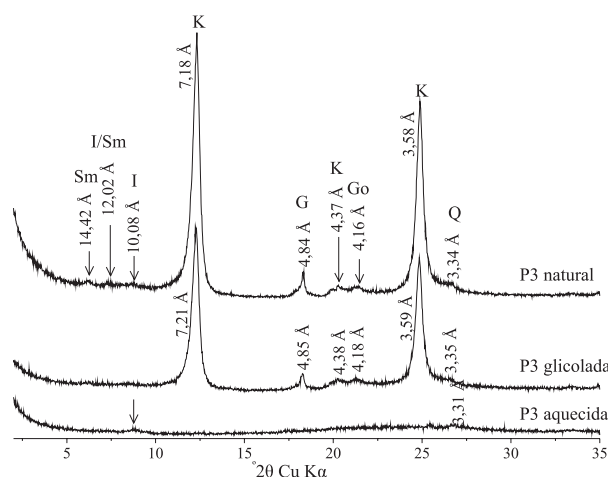


FIGURA 7. Difratomograma da fração argila (<2µm) da amostra P3 (CuK α), sendo Q = quartzo, G = gibbsita, K = caulinita, Sm = esmectita, I = ilita e I/Sm = interstratificado ilita/esmectita.

O teor de SiO₂ nas cinco amostras é similar, variando de 58,49 a 67,91% (Tabela 2), sendo o maior valor referente à amostra P5 devido à predominância de quartzo como demonstra os resultados da difração de Raios X (Figura 5). Teores superiores de Al₂O₃ foram observados nas amostras P1 e P4, sendo associados, respectivamente, a presença de gibbsita e de gibbsita+feldspato+muscovita. Valores mais elevados em Fe₂O₃ são associados à presença de hematita e goethita (P1 e P4, observados na Figura 5).

Apesar dos óxidos Na₂O, K₂O e MgO serem mais frequentes nas amostras dos perfis de alteração (P4, P5 e P3) devido a presença de minerais primários como feldspatos e muscovita (Figura 8), estes valores são baixos em relação aos elevados teores de Al₂O₃ (15 a 25%), o que torna estas argilas mais refratárias e menos fundentes.

Os maiores valores de perda ao fogo (LOI) nas amostras P3, P2 e P5 podem ser atribuídos devido à maior quantidade de minerais de alteração como caulinita, gibbsita, goethita.

As amostras P1, P2 e P4, apresentaram as maiores concentrações de carbono orgânico (Figura 9). Tal fato se deve às condições redutoras, favoráveis à baixa degradação da matéria orgânica, ocorrente nas áreas de várzea (P1, P2) e à contribuição da matéria orgânica do horizonte A do perfil de alteração (P4).

Quanto aos teores de pH das amostras (Tabela 2) estes ficaram na faixa de 5,13 a 5,54, sendo a amostra P1 um pouco mais ácida que as demais devido ao seu teor de matéria orgânica mais elevado (Figura 9).

O índice de plasticidade (Ip) que é definido pela diferença entre o limite de liquidez (LI) e o limite de plasticidade (Lp) permite enquadrar as amostras P1 e

P2 como altamente plásticas ($I_p > 15$, Tabela 3). Tal característica pode ser relacionada aos teores mais elevados de matéria orgânica nessas massas (Figura 9). A amostra P4 é classificada como mediamente plásticas ($7 < I_p < 15$) e as amostras P3 e P5 se enquadram como de baixa plasticidade ($I_p < 7$) devido a pouca matéria orgânica e ao maior teor de SiO_2 (Tabela 2).

Os resultados dos ensaios físicos cerâmicos a $950^\circ C$, especificamente tensão à ruptura a flexão sofreu uma variação grande de 43 MPa, para o corpo de prova P1 (melhor valor), para 8 MPa (pior valor), para o corpo de prova P5 (Figura 10). Segundo o trabalho de Santos et al. (2007) os valores na faixa de 16 a 50 MPa se encontram adequados para serem utilizados na indústria cerâmica vermelha.

Dados de porosidade aparente ficaram na faixa de 32 a 37% e a absorção de água no intervalo 18 a 22% sendo classificada como BIII pela Norma Técnica NBR 13.817 da ABNT (1997). Esses valores de porosidade e absorção de água são elevados (devido aos altos teores de quartzo), tornando esses materiais aptos a uma aplicação na fabricação de tijolos e telhas. Em relação à retração linear de queima, devido aos teores elevados de sílica, houve uma retração muito pequena nos corpos de prova, sendo que em alguns deles houve até expansão.

Para a avaliação dos melhores resultados dos corpos de prova, observou-se quais amostras possuíam maiores e menores valores de tensão a ruptura e absorção de água respectivamente e comparando-os com a norma NBR 13.817 da ABNT (1997) para revestimentos cerâmicos e de resultados de trabalhos

como de Santos et al. (2007); Silva et al. (2006) e Correia et al. (2006) na área de cerâmica vermelha.

Os melhores resultados nas análises cerâmicas da amostra P1 provavelmente foram devido aos teores mais elevados de matéria orgânica (Figura 9) aliados ao seu menor teor em SiO_2 e maiores valores de Al_2O_3 (caulinita + gibsita) e Fe_2O_3 (Tabela 2). As amostras P4 e P2 apresentaram respectivamente o segundo e o terceiro melhores valores quanto às propriedades cerâmicas. Apesar da amostra P2 apresentar concentrações maiores de carbono orgânico que a amostra P4, esta possui teores maiores de SiO_2 e uma distribuição granulométrica de prensagem (Tabela 4) mais grossa (em torno de 76% em relação à amostra P4 que possui 91% nas peneiras 120, 200 mesh e no prato), contribuindo para um aumento na absorção de água da amostra e queda da tensão à flexão do corpo de prova.

As amostras P5 e P3 apresentaram uma queda abrupta das propriedades cerâmicas devido à combinação de alguns fatores como os baixos valores de carbono orgânico (Figura 9), elevadas concentrações de SiO_2 e teores menores de Al_2O_3 (caulinita + gibsita) e Fe_2O_3 (Tabela 2).

A presença de concentrações elevadas de SiO_2 (58 a 67%) e baixos teores de Fe_2O_3 (2,9 a 7,7%) em todas as amostras clareou a cor de queima (tons de vermelho a amarelado) e reduziu os valores de retração de queima dos corpos de prova. As amostras que retraíram mais foram a P1 e a P2 devido à presença mais elevada de matéria orgânica. O excesso de sílica da amostra P5 gerou uma retração negativa, gerando uma dilatação dos corpos de prova confeccionados com essa massa.

TABELA 2. Composição química e valores de pH das amostras coletadas.

Amostras	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	LOI	pH
P1	58,49	24,95	7,72	0,15	0,19	0,14	0,70	0,04	1,31	0,15	6,16	5,13
P2	62,17	20,84	3,22	0,15	0,12	0,11	0,26	0,04	2,10	0,07	10,95	5,54
P3	61,53	18,55	4,62	0,11	0,30	0,17	1,46	0,02	1,43	0,08	11,74	5,18
P4	60,23	21,72	5,39	0,17	0,58	0,20	2,48	0,08	0,54	0,05	8,56	5,30
P5	67,91	15,78	2,90	0,16	0,23	0,29	1,90	0,01	0,45	0,03	10,37	5,46

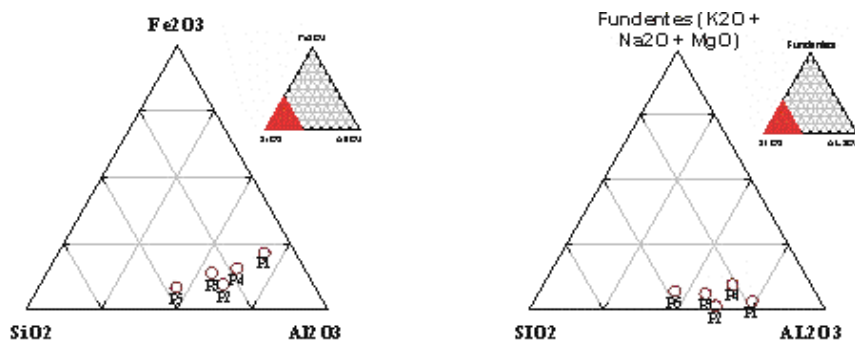


FIGURA 8. Diagramas ternários SiO_2 x Al_2O_3 x Fe_2O_3 e SiO_2 x Al_2O_3 x Fundentes das amostras coletadas.

TABELA 3. Valores de Índice de Plasticidade das amostras.

Amostras	LI (%)	Lp (%)	IP=LI-Lp (%)	Classificação
P1	52,20	33,71	18,49	Muito Plástica
P2	50,30	29,79	20,51	Muito Plástica
P3	38,60	32,19	6,41	Pouco Plástica
P4	45,30	34,50	10,80	Plasticidade Média
P5	32,60	28,50	4,10	Pouco Plástica

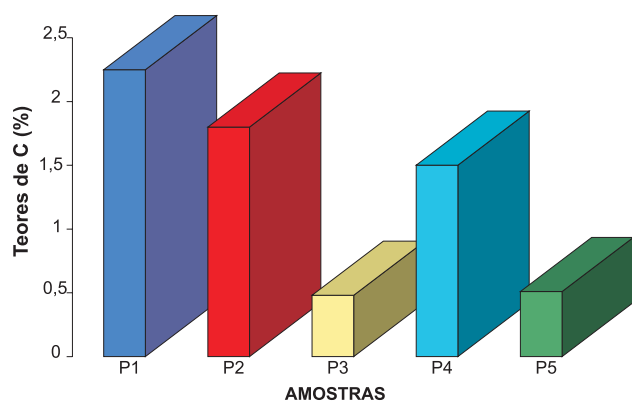


FIGURA 9. Gráfico de teores de Carbono das amostras de argila coletadas.

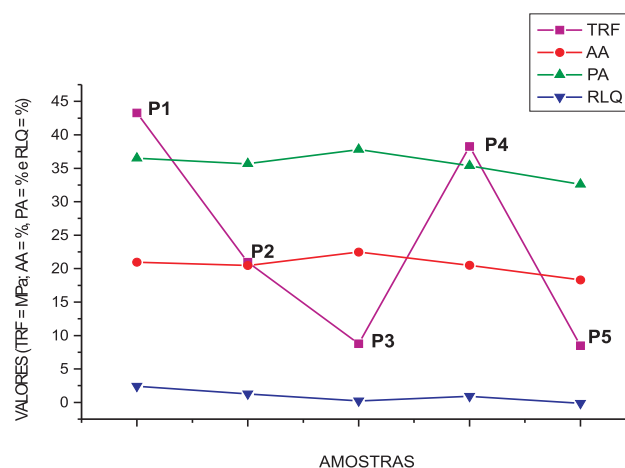


FIGURA 10. Gráfico dos resultados dos ensaios físicos cerâmicos a 950°C. Legenda: TRF = tensão de ruptura à flexão (MPa); AA = absorção de água (%); PA = porosidade aparente (%); RLQ = retração linear de queima (%).

TABELA 4. Ensaio de Distribuição Granulométrica de Prensagem (%) das amostras de argila da região de Alfenas segundo a norma NBR 6502 da ABNT (1995).

Peneiras (mesh)	20	40	60	120	200	Prato
Amostras						
P-1	0,4	1,6	17,3	22,0	14,2	44,2
P-2	0,6	2,6	17,0	21,3	10,6	45,0
P-3	0,0	0,0	5,0	28,0	16,0	50,0
P-4	0,2	1,0	6,6	21,3	11,6	58,6
P-5	0,2	1,4	13,5	26,9	15,7	41,3
Tamanho de grãos	Areia grossa Inferior	Areia Média Superior	Areia Média Inferior	Areia Fina Superior	Areia Fina Inferior	Silte + Argila

CONCLUSÕES

Os materiais argilosos das olarias da região de Alfenas são produtos de origem aluvionar ou de alteração de rochas do Complexo Varginha-Guaxupé. São argilas caulínicas ricas em quartzo, micas (muscovita) e pobres em óxidos e hidróxidos de ferro e feldspatos, que já se encontram em processo avançado de alteração. Devido à composição predomi-

minante de caulinita e quartzo são menos plásticas, mais porosas (absorção de água mais elevada) e mais refratárias sendo mais adequadas à utilização na indústria de cerâmica vermelha (tijolos e telhas). Novos estudos seriam necessários para a procura de saprolitos de rochas ultrabásicas ou filitos na região para servirem como aditivos a essas massas cerâmicas. Com a adição

destas rochas ricas em K_2O (illita, esmectita e minerais primários como os feldspatos e as micas) essas massas se tornariam mais fundentes e mais plásticas podendo aumentar sua temperatura de queima e diminuir o seu ciclo de sinterização no forno das olarias, melhorando as características físicas das matérias primas da região.

Os melhores resultados das propriedades cerâmicas foram obtidos para amostras P1, P4 e P2, devido aos teores mais elevados de matéria orgânica, aliados a um menor teor em SiO_2 , maiores valores de Al_2O_3 (caulinita + gibsitita) e Fe_2O_3 e uma granulometria fina que contribuíram para uma melhor sinterização destas amostras.

Os teores de álcalis são mais elevados nas argilas dos perfis de alteração (P3, P4 e P5) devido à presença de minerais primários como feldspato e muscovita. Em contra partida, os maiores teores de carbono orgânico se referem às amostras de várzea (P1 e P2), onde ocorrem condições mais redutoras, favoráveis à baixa degradação da matéria orgânica.

As elevadas concentrações de SiO_2 e os baixos teores de Fe_2O_3 em todas as amostras clarearam a cor de queima e reduziram os valores de retração de queima dos corpos de prova, sendo as amostras que mais retraíram, àquelas com maior teor de matéria orgânica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro e incentivo a pesquisa da FAPEMIG (Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Técnica NBR 6454** – Determinação do Limite de Liquidez, Método de Ensaio, 1984.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Técnica NBR 7180** – Determinação do Limite de Plasticidade, Método de Ensaio, 1984.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Técnica NBR 6502** – Rochas e Solos (terminologia), 1995.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Técnica NBR 13817** – Placas Cerâmicas para Revestimentos – Classificação, 1997.
5. ALMEIDA, S.H.S. **Estruturação Tectônica da Borda Norte da Cunha de Guaxupé na Região de Alfenas (MG)**. Rio Claro, 1997. 156 p. Tese (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
6. CAVALVANTE, J.C.; CUNHA, H.C.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. Projeto Sapucaí: Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNPM/CPRM. **Relatório** final de geologia. Série Geologia, 4 – Seção Geológica, 2. Brasília/São Paulo, 229 p., 1979.
7. CORREIA, S.L.; TOMAZI, F.C.; TOMIYAMA, M.; HOTZA, D.; FOLGUERAS, M.V. Argilas da região de Joinville (Santa Catarina): caracterização química, mineralógica e tecnológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50, 2006, Blumenau. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2006, p. 1-10. Ref. 2-10. CD-ROM.
8. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: SILVA, F.C. DA (Coord.), **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 370 p., 1999.
9. FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G.; CAMPOS, D.A.; TOSATTO, P. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (Folhas de Rio de Janeiro/Vitória/Iguape, SF-23/24 e SG-23)**: texto explicativo. Brasília: 240 p., 1979.
10. HASUI, Y. Curso de zonas e cinturões de cisalhamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. **Apostila...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, 86 p.
11. HASUI, Y. & COSTA, J.B.S. Curso de zonas e cinturões de cisalhamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. **Apostila...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, 86 p.
12. HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. DE. Província Mantiqueira. In: ALMEIDA, F.F.M. DE & HASUI, Y. (Coords.), **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, p. 308-344, 1984.
13. HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HARALYI, N.L.E.; SAAD, A.R.; CAMPANHA, V.A.; HAMZA, V.M.; GALLI, V.A. **Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado de São Paulo (PRÓ-MINÉRIO), Relatório IPT, 1989.
14. HEILBRON, M.; VO, C.; ZIMBRES, E.; CHRISPIM, S.J.; SIMÕES, L.S.A.; SOUZA, M.A.T. O contato basal do Grupo Canastra entre Itu de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4, 1987, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987, p. 179-198.
15. MORALES, N. Geologia das Folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Rezende. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1983, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1983, p. 411-422.
16. OLIVEIRA, M.S.F. DE; MORALES, N.; FULFARO, V.J. **Projeto Boa Vista**, Relatório Final. Rio Claro: Convênio PRÓ-MINÉRIO/UNESP, 85 p., 1984.

17. SANTOS, G.R.D.; BELUCCI, F.S.; CHENCAREK, B.; ALSELMO, E.M.; OLIVEIRA, T.; SALVETTI, A.R. Análise Comparativa das Propriedades Físicas entre Argilas de Formação Rochosa e de Várzea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 51, 2007, Salvador. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2007, p. 1-12. Ref. 1-33. CD-ROM.
18. SILVA, J.B.; DUTRA, R.P.S.; NASCIMENTO, R.M.; GOMES, U.U. Caracterização e estudo de formulações de massas para cerâmica vermelha de argilas provenientes do Município de Goianinha - RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50, 2006, Blumenau. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2006, p. 1-12. Ref. 5-16. CD-ROM.
19. SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 313 p., 1973.
20. SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blucher, 400 p., 2003.
21. WERNICK, E. & FIORI, A.P. Contribuição à geologia da borda sul do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E FAIXAS MARGINAIS, 1981, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1981, p. 169-179.
22. ZANARDO, A.; MORALES, N.; DEL LAMA, E.A. Evolução metamórfica do Grupo Araxá-Canastra na região de Passos (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Boletim de Resumos Expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, v. 1, p. 408-409.

*Manuscrito Recebido em: 20 de dezembro de 2009
Revisado e Aceito em: 18 de fevereiro de 2010*