

# FILITO: UM MATERIAL ESTRATÉGICO PARA FABRICAÇÃO DE NOVOS CIMENTOS

---

*Lis Guimarães de Azeredo Melo\* , Clelio Thaumaturgo*

*<sup>a</sup>Seção de Engenharia Elétrica (SE/4) – Instituto Militar de Engenharia (IME)  
Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, 22.290-270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
\* melo\_lis7@hotmail.com*

## ABSTRACT

This work is the first of a series presenting a new application of the rock phyllite. Phyllite is a material found abundantly in the earth's crust, that has a low aggregate cost. Here, we have determined its physical properties, such as the bulk density, specific surface area and particle size distribution. The chemical characterization of the rock consisted of determining the chemical and mineralogical composition, both qualitatively and quantitatively. It was observed that phyllite is composed of quartz and muscovite, as majority mineral phases and kaolinite, microcline, rutile and goethite, as minority mineral phases. The high amount of quartz, together with the amount of up to 40% of phyllosilicates (muscovite and kaolinite), makes phyllite a strategic material for the manufacture of geopolymer cement, a material that can replace Portland cement in structural applications.

**Keywords:** phyllite, characterization, mineral phases, geopolymer

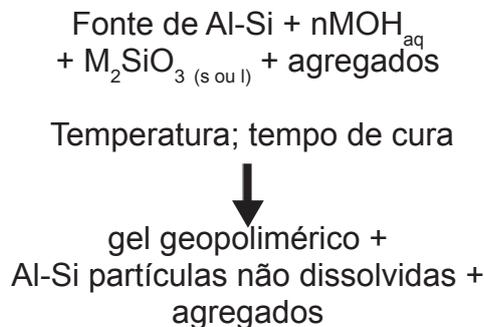
## RESUMO

Este artigo é o primeiro de uma série a respeito de uma nova aplicação do mineral filito. O filito é um mineral muito abundante na crosta terrestre, que apresenta um baixo custo agregado. Neste trabalho, determinamos suas propriedades físicas, como massa específica, área superficial e distribuição de tamanhos de partícula. A caracterização química do mineral consistiu em determinar sua composição química e mineralógica, tanto de forma qualitativa como de forma quantitativa. Foi observado que o filito é composto de quartzo e moscovita como fases principais e de caulinita, microclina, rutilo e goethita como fases secundárias. O elevado teor de quartzo, juntamente com uma concentração de até 40% de filossilicatos (moscovita e caulinita), fazem do filito um material estratégico para a fabricação de cimento geopolimérico, um material que pode substituir o cimento Portland em aplicações estruturais.

**Palavras-chave:** filito, caracterização, fases minerais, geopolímeros

## INTRODUÇÃO

Geopolímeros são constituídos de uma mistura de alumínio, silício, solução alcalina, silicato e agregados, curados a uma temperatura específica. Nessas condições, é formado um compósito que consiste de uma matriz gel aluminossilicato amorfo, com partículas residuais/parcialmente dissolvidas da fonte cristalina de Al e Si e de agregados (Xu, 2002; Xu *et.al.*, 2002):



Os materiais geopoliméricos possuem algumas propriedades consideradas únicas como: alta resistência inicial, durabilidade, elevada resistência a ataques químicos de ácidos e sulfatos, habilidade de imobilizar compostos tóxicos e radioativos, baixas porosidade e permeabilidade, e resistência a altas temperaturas. Ao reunir essas propriedades especiais com seus benefícios para o meio ambiente, como baixo consumo de energia e baixa emissão de gás carbônico na sua produção, estes polímeros inorgânicos tornam-se materiais estratégicos para o desenvolvimento sustentável e uma séria alternativa para o cimento Portland (Davidovits 1988a; 1988b; 1988c; 1991; 1994; Majidi, 2009).

Teoricamente, qualquer material que contém Al e Si em sua composição pode ser a fonte sólida de aluminossilicato para a geopolimerização (Xu, 2002; Xu *et.al.*, 2002). As fontes mais utilizadas na geopolimerização atualmente são o metacaulim ou caulim calcinado, e a cinza volante, que é um resíduo industrial. O metacaulim possui um custo elevado, e a cinza volante apresenta diversas fases complexas.

A busca por materiais alternativos tem por objetivo baratear os custos de um processo industrial. O filito, material de baixo valor agregado, é composto principalmente por Al e Si, e é uma rocha fácil de pulverizar, fornecendo um pó finíssimo. Seus componentes essenciais são filossilicatos de pequeno tamanho de grão, como a mica muscovita finamente dividida ou sericita, caulinita, e quartzo (Valera *et.al.*, 2002; Abreu, 1973).

Dessa forma, a utilização do filito como precursor geopolimérico, é incentivada por sua abundância, baixo custo, e o fato de já ser aplicado nas indústrias cerâmicas como substituto parcial do caulim. É empregado em massas cerâmicas de grés sanitário, indústrias de argamassa, plastificante, ração animal, pigmentos, aglutinantes, concretos especiais, e materiais à prova de água devido à baixa permeabilidade (Santos, 1992; Motta *et.al.* 1998; Moreto, 2006; Garzón *et.al.*, 2010).

Assim, o seguinte trabalho apresenta caracterizações físicas e químicas realizadas no filito, a fim de avaliar seu potencial como matéria prima na fabricação dos compósitos geopoliméricos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

No Brasil, um dos grandes depósitos de filito ocorre na região de Itapeva, SP, com variação de colorações entre as cores branca, preta e rósea. Cada uma apresenta suas características químicas e aplicações diversas. Geralmente, possuem alta plasticidade, boa resistência mecânica e cores clareadas após a queima. O material de coloração branca apresenta amostras de cor creme ou creme esverdeado, e este é o produto que possui maior valor comercial. Apresenta cor mais clara após a queima à temperatura de 1000°C, e é comercializado como um substituto parcial das argilas brancas por ser um produto mais barato e por agir como fundente durante a queima dos cerâmicos. A porção rósea com tonalidades mais claras tem encontrado espaço no mercado das argamassas e outros ramos, como na produção de ração animal e cargas minerais nas indústrias de tintas e selantes (Moreto, 2006).

Estes dois tipos de filitos foram caracterizados neste trabalho. A diferença entre eles depende do processo que sofre após ser extraído do campo, distinguindo-se pela granulometria e teor de umidade. Como solicitado, o material foi entregue moído com as granulometrias mostradas na TAB. 1 (estes valores foram fornecidos pelo controle de qualidade da Mineração Itapeva), que mostra uma aproximação do material que fica retido em cada abertura de malha de peneira. O peneiramento é realizado via úmida, por série de peneiras padrão. O filito creme (FC) apresentou tamanho de partículas menor que o filito branco (FB).

*Tabela 1 Granulometria dos filitos recebidos usando peneiramento via úmida*

Granulometria		
	FB	FC
Resíduo na malha de abertura 0,075 mm	Entre 16 e 10%.	Entre 5,3 e 3%.
Resíduo na malha de abertura 0,044 mm	Entre 9,5 e 7%	Entre 6,2 e 5%

### Caracterização

A massa específica aparente dos reagentes em pó foi determinada utilizando o frasco volumétrico “Le Chatelier”, de acordo com a norma brasileira NBR NM23.

As análises de B.E.T., para determinação da área específica superficial, foram realizadas no Laboratório de Análises Térmicas da Seção de Engenharia Química do Instituto Militar de Engenharia usando um analisador de superfície específica da Micromeritics, modelo ASAP 2000. As amostras foram pesadas em uma balança analítica, secas e desgaseificadas com nitrogênio gasoso a uma temperatura de 350 °C, até estarem totalmente secas. A adsorção e desorção do N<sub>2</sub> ocorreram a temperatura de 77 K.

A distribuição granulométrica foi determinada pela técnica de difração a laser

em um granulômetro a laser Mastersizer 2000 da Malvern Instruments Ltda do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). As amostras foram dispersas em água e foi utilizado o acessório Hydro2000SM para amostras aquosas. Foi utilizada laser He(Ne) (comprimento de onda é de 632,8 nm). O modelo de análise utilizado foi de partícula esférica, com rotação de 2500 rpm e tempo de agitação de 5 minutos em ultra-som. Foi usada a aproximação de difração de Fraunhofer para encontrar a distribuição do tamanho de partícula.

A análise de fluorescência de raios X (XRF) foi realizada em um equipamento Philips PW 2400 com fonte de raios X de ródio a 3 kW, do Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná, para determinação da composição química dos filitos.

As análises térmicas DTA e TG foram determinadas usando o modulo SDT-2960 (DTA/TGA) simultâneo da TA Instruments no CETEM. Foi usado em torno de 20-40 mg de cada amostra para o ensaio e o material inerte utilizado foi alumina. As amostras foram aquecidas até 1200 °C, a uma taxa de 20 °C por minuto.

A difração de raios X (DRX) foi realizada utilizando o método de pó no equipamento Bruker-D4 Endeavor do CETEM para determinação qualitativa das fases minerais. Foram usadas as seguintes condições de operação: radiação Co Ka,  $\lambda = 1,79021 \text{ \AA}$ , gerador operado a 40 kV e 40 mA; velocidade do goniômetro de  $0,02^\circ 2\theta$  por passo com tempo de contagem de 0,5 segundo por passo e coletados de  $4$  a  $80^\circ 2\theta$ , com detector sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas do espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF-02 (ICDD, 2006) em software Bruker Diffrac<sup>Plus</sup>.

O método de Rietveld foi aplicado nos filitos branco e creme para determinação quantitativa das fases minerais utilizando o programa TOPAS versão 3 1999, 2000. Os difratogramas foram analisados e comparados com os padrões fornecidos pelo banco de dados da Bruker Structure Database e do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*).

Foi utilizado um microscópio de alta resolução JEOL modelo 2100F que possui fonte de elétrons por emissão de campo (FEG, do inglês *Field Emission Gun*), operado a 200KV com modo de varredura (STEM, do inglês *Scanning Transmission Electron Microscopy*) disponível no Laboratório Multiusuário de Nanotecnologia (LABNANO) do CBPF, para caracterização mineralógica do filito. Para a preparação da amostra, primeiro foi promovida a dissolução de uma pequena quantidade do pó da amostra em acetona, em seguida, foi homogeneizada em Ultrassom Thornton durante 2 minutos e, por fim, foi depositada em uma rede Holey Carbon (#200).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterizações físicas dos filitos

Foram encontrados os valores de massa específica aparente para os filitos de 2,76 e 2,74 g/cm<sup>3</sup> para o FC e FB, respectivamente. A diferença sugere pouca distinção de composição química e mineralógica. O FC é pouco mais denso que o FB, indicando presença dos mesmos minerais.

A muscovita, quartzo e caulinita, os minerais mais comuns encontrados no filito, possuem massa específica aproximadamente 2,79, 2,62, e 2,60 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Fleet, 2003; Web Mineral, 2011). A proximidade entre os valores de massa específica dos minerais com o filito sugere a presença majoritária de muscovita e/ou quartzo.

Amostras de filito da Espanha com fração de quartzo apresentaram massa específica entre 2,75 e 2,82 g/cm<sup>3</sup>, próximos aos obtidos para o FB e o FC. Os autores relacionaram massa específica à presença da illita e clorita, componentes principais deste filito, que possuem valores de massa específica semelhantes (Garzón *et.al.*, 2010).

Foram encontradas áreas específicas superficiais de 10,6 e 6,1 m<sup>2</sup>/g para os FC e FB, respectivamente. O FC possui maior área específica superficial que o FB. A Figura 1 compara os filitos, e mostra que o FB exibe distribuição de tamanho de partículas com aspecto bimodal, diferente do observado para o FC. Foi verificada tamanho máximo das partículas de 150 µm para o FB e 200 µm para o FC.

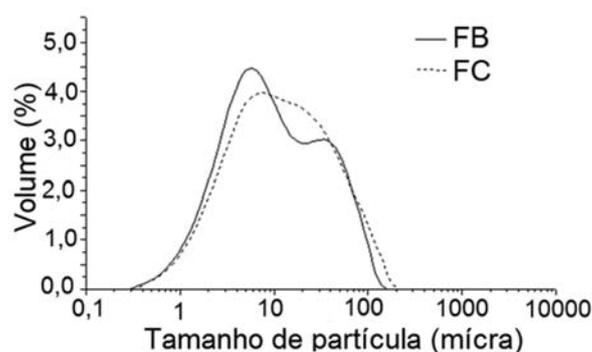


Figura 1 Distribuição de tamanho de partícula do filito branco (FB) e filito creme (FC).

### Composição química

A Tabela 2 apresenta a composição química dos filitos encontrada através da XRF. A maior razão Si/Al, ou menor quantidade de Al, apresentada pelos filitos em relação à caulinita (Web Mineral, 2011), indica que o componente mineral principal não é caulinita. Dessa forma, o geopolímero com filito pode apresentar um comportamento diferente perante a ativação alcalina, como diferentes estruturas e resistência mecânica, em relação ao geopolímero de metacaulim.

Tabela 2 Composição química dos filitos através da XRF.

Óxidos	Composição em massa (%)	
	FB	FC
SiO <sub>2</sub>	72,63	68,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,98	15,72
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,02
CaO	0,02	0,02
K <sub>2</sub> O	5,07	4,35

Óxidos	Composição em massa (%)	
	FB	FC
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,37	4,81
MgO	1,83	1,52
TiO <sub>2</sub>	0,61	0,91
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,04
Perda ao fogo	3,00	3,95
Total	99,56	100,18

### Composição mineralógica: qualitativa

A Figura 2 (a) e (b) mostra a difração de raios X e as fases minerais encontradas no FB e FC, respectivamente. Os principais minerais identificados em ambos foram quartzo, muscovita e caulinita. Foram encontradas quantidades pequenas de microclínio no FB e microclínio, rutilo e goethita no FC.

Moreto (2006) identificou a fase mica nos filitos de Itapeva como sericita, sem indicar qual método foi utilizado para permitir a distinção entre sericita, a muscovita e illita. Foi constatado por Deer *et.al.*, (1971) que a sericita apresenta altos teores de SiO<sub>2</sub>, MgO, e H<sub>2</sub>O com baixo teor de K<sub>2</sub>O enquanto Abreu (1973) a considerou como muscovita finamente dividida. Cristais de tamanho muito pequeno, como a sericita, ou mica fina, causam alargamento dos picos nos difratogramas. Como não foram observados picos largos para mica, foi descartada a presença de sericita no filito.

A presença do mineral illita no filito foi relatada por Arnold *et.al.* (1998) e Garzón *et.al.* (2009). No entanto, não foi esclarecido o método de identificação utilizado que permitiu distinguir entre illita e muscovita. Segundo Santos (1975), os minerais do grupo mica podem ser identificados e diferenciados. Se ocorrer a presença de um pico agudo a 1,0 nm, estão presentes as micas bem cristalizadas. Se houver a identificação de um pico arredondado entre 1,0 e 1,1 nm, há presença de micas hidratadas (illitas) ou halloysita. Assim, é possível descartar a presença da illita no filito, pois o pico de 1,0 nm dos difratogramas mostrados na FIG. 2 é agudo. O pequeno pico presente à esquerda de 1,0 nm está relacionado a difração do K<sub>β</sub> do tubo de Co usado no experimento [FIG. 2 (a) e (b)]. A similaridade encontrada entre a massa específica da muscovita e os filitos está de acordo com os resultados da DRX.

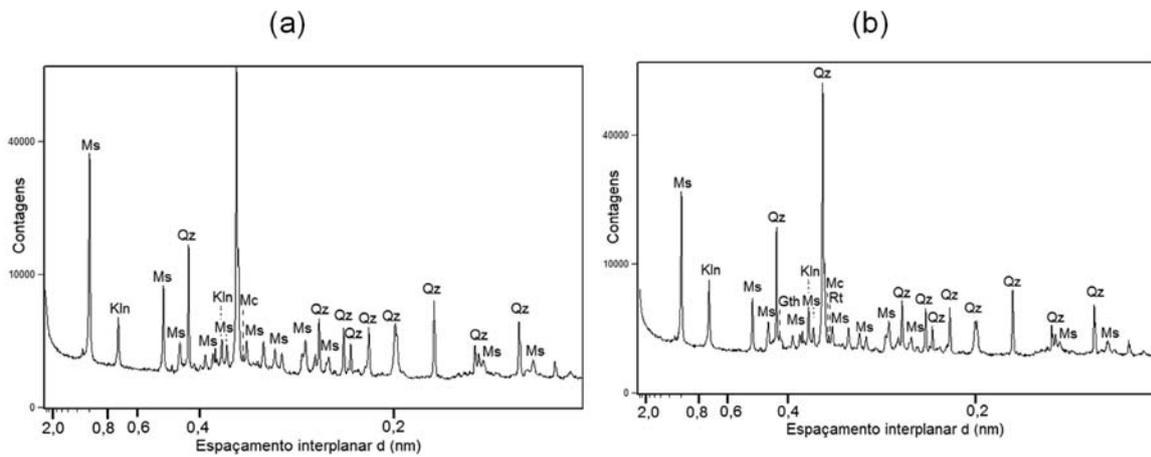


Figura 2 Difratoograma de raios X do (a) FB e (b) FC. Onde Qz é quartzo com PDF nº 046-1045, Ms é muscovita 2M1 PDF nº 006-0263 e muscovita 1M PDF nº 021-0993, Klin é caulinita PDF nº 080-0885, Mc é microclínio PDF nº 019-0932, Rt é rutilo PDF nº 073-1232, e Gth é goethita PDF nº 029-0713.

A Figura 3 mostra a análise térmica diferencial (DTA) para o FB e FC. Os picos endotérmicos a 53 °C para o FB e 65 °C para o FC estão relacionados com a perda de água adsorvida dos minerais. Os picos endotérmicos a 506 °C para o FB e 496 °C para o FC foram atribuídos a remoção dos grupos hidroxilas (OH<sup>-</sup>) da caulinita. A remoção das hidroxilas na caulinita ocorre entre temperaturas 450 a 700°C, diminuindo com menores tamanhos de partículas, formando metacaulinita amorfa.

Em geral, a temperaturas entre 1000 a 1200 °C, são formadas as fases mulita e cristobalita, resultantes da nova organização estrutural da caulinita e do quartzo, respectivamente, sobre efeito exotérmico (Abreu, 1973; Santos, 1975 e Todor, 1976). A FIG. 3 apresenta um ligeiro pico exotérmico a 1005 °C (FB) e 1004 °C (FC), sendo atribuído a formação dessas novas fases.

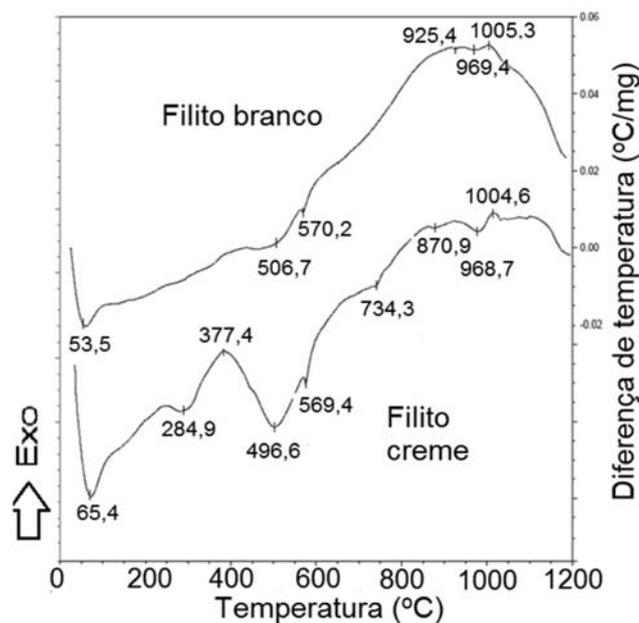


Figura 3 Análise térmica diferencial do FB e do FC.

A transformação polimórfica de  $\alpha$ -quartzo em  $\beta$ -quartzo ocorre a 573 °C com um pico endotérmico bem definido com pequena área sob a curva, conforme encontrado por Todor (1976). Tanto para o FC quanto para o FB, esses picos foram observados a temperatura de 570 °C e 569 °C, respectivamente.

A goethita apresenta água em sua estrutura, constituída por grupos de hidroxila. Suas curvas térmicas são representadas por um pico endotérmico entre 250 a 360 °C, resultado da remoção dos grupos OH<sup>-</sup>, restando óxido de ferro que se transforma em hematita (Todor, 1976). O FC apresenta uma pequena curva endotérmica a 282 °C, na FIG. 3, associado a presença de goethita.

A muscovita sofre tanto processos químicos quanto físicos no aquecimento. A perda dos grupos OH<sup>-</sup> acontece entre 750-950 °C sob efeito endotérmico. Como regra, o máximo desse efeito térmico normalmente está em torno de 850 °C, mas pode chegar a somente 600 °C para as muscovitas finamente divididas, ocorrendo perda de massa proporcional a quantidade de água removida (Kodama, 1968). Após a desidroxilação, normalmente o mineral sofre reorganização estrutural (Schomburg, 1997; Todor, 1976). A presença da muscovita está associada aos picos endotérmicos a 925 °C para o FB e 870 °C para o FC. Esta variação de temperatura nas curvas de DTA é comum, pois depende muito do seu estado físico, e principalmente do tamanho das partículas da amostra (Deer *et.al.*, 1971).

O pico endotérmico a 734 °C no FC pode estar relacionado à presença da illita, ou a uma muscovita mais fina. A presença de um mineral finamente dividido explicaria a maior área superficial apresentada por este filito em comparação ao FB e justificaria os elementos Fe e Mg. A utilização das técnicas de DRX e DTA/TG não permitiu concluir sobre a presença de illita na composição mineralógica. A muscovita 1M geralmente tem sido descrita como sericita ou illita (Deer *et.al.*, 1971).

O FC apresenta ainda um pico exotérmico a 377 °C provavelmente relacionado a efeitos exotérmicos causados pela combustão de matéria orgânica nas argilas. Geralmente, estes efeitos resultam em picos largos em torno de 300 °C (Santos, 1975).

Através da Microscopia Eletrônica de Transmissão, foi observado um aglomerado de partículas de diversos tamanhos sem formato definido no FB, com a presença de algumas partículas que apresentaram bordas bem definidas, mostrados na FIG. 4. Através do mapeamento por EDS, foram identificados Si, Al, O, Fe e os metais alcalinos Mg e K, indicando a presença de várias fases minerais. A presença da muscovita foi sugerida pelos metais alcalinos e pelas placas com bordas irregulares de vários tamanhos (Santos, 1975; Beutelspacher, 1968; Sudo, 1981).

A seta da FIG. 4 (a) destaca uma partícula sem formato definido, que apresenta majoritariamente Al, Si e O identificado pelo mapeamento de EDS, indicando caulinita. As partículas destacadas por um círculo na Figura. 4 (a) possuem tamanho aproximado de 70 nm, e são constituídas por Fe conforme as imagens por mapeamento de EDS. É possível que este elemento esteja presente no FB como uma fase mineral ou como átomo substitucional das folhas tetraédricas ou octaédricas dos filossilicatos. O tamanho diminuto e a baixa concentração podem justificar sua ausência na DRX e no DTA.

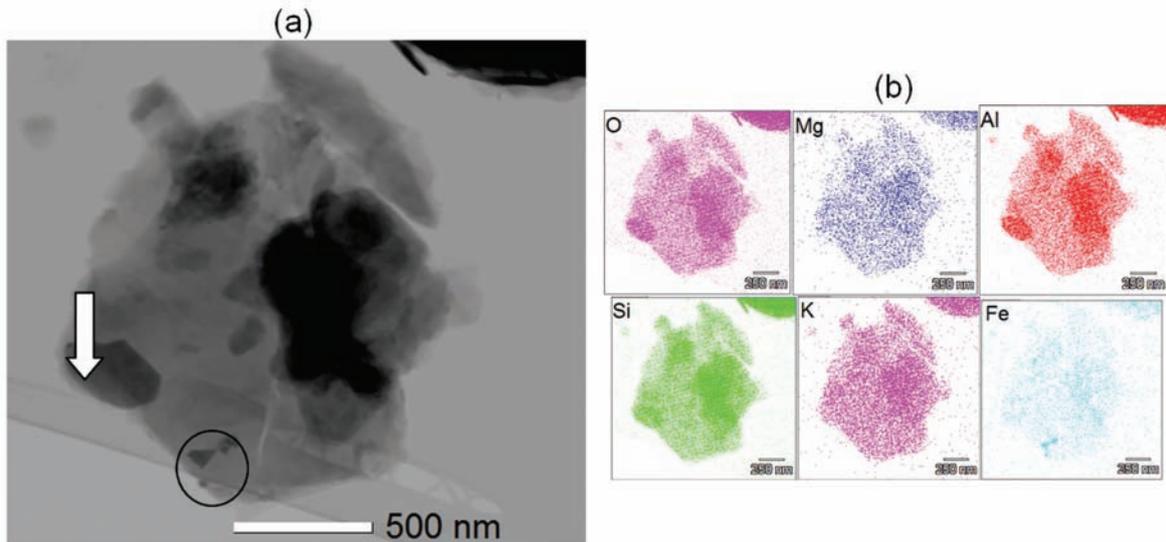
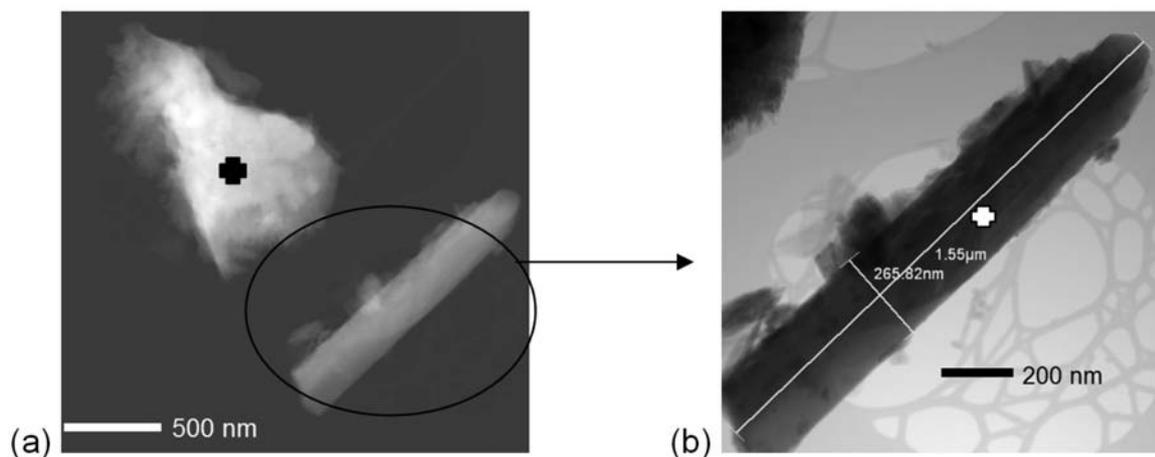


Figura 4 (a) Imagem por STEM de FB mostrando um aglomerado de partículas, (b) imagens por mapeamento de EDS, mostrando que o aglomerado é constituído por várias fases.

Foi encontrado um aglomerado de partículas ao lado de uma partícula alongada no FC, visíveis na FIG. 5 (a). A Figura 5 (b) mostra um aumento sob a partícula alongada. Foi realizada análise de EDS em cima da cruz branca da partícula cilíndrica [Figura 5 (b)], detectando Ti e Fe [Figura 5 (d)].

A partícula cristalina de Ti deve estar associada à fase mineral rutilo. A Figura 5 (b) mostra que pequenas partículas, provavelmente de Fe, estão adsorvidas na superfície da partícula alongada, explicando a presença desse elemento no espectro de EDS [Figura 5 (c)], como também O, Si e Al. Assim, é possível que o aglomerado esteja associado à fase goethita. A goethita pode apresentar partículas de argila aderidas em sua superfície e o Al pode substituir o Fe na estrutura cristalina da goethita (Cornell, 2003). Assim, o Al pode ser átomo substitucional, ou uma fase mineral.



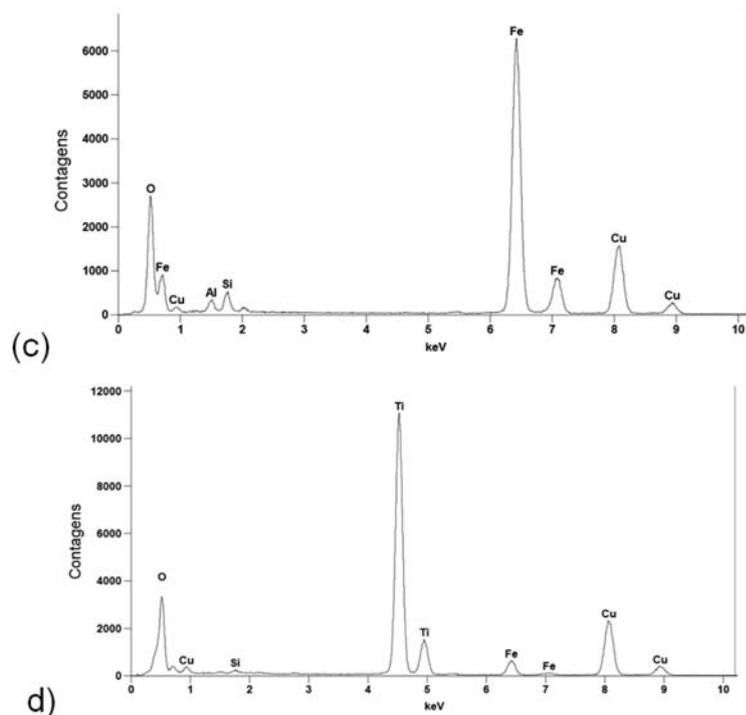


FIG. 5 Imagens por STEM de FC mostrando (a) imagem por HAADF de aglomerado de partículas e outra cilíndrica, (b) aumento da partícula cilíndrica em campo claro, (c) espectro de EDS do aglomerado, realizado na área da cruz preta em (a), (d) espectro de EDS realizado na área da cruz branca em (b).

### Composição mineralógica: quantitativa

A utilização do método de Rietveld permitiu identificar e distinguir entre dois polítipos de muscovita no filito, a  $2M_1$  e  $1M$ . Este método também foi utilizado para quantificar as fases minerais no FB e FC, mas não considera as substituições iso-mórficas da unidade estrutural.

Foi observado que o FB possui apenas aproximadamente 4% de caulinita em sua composição mineralógica, enquanto que FC apresentou o dobro (TAB. 3). A quantidade limitada de caulinita no filito deve resultar em um geopolímero diferente, estrutural e mecanicamente, do baseado em metacaulim.

Tabela 3 Composição mineralógica dos filitos através do Método de Rietveld.

Mineral	Quantidade encontrada (%)	
	Filito branco	Filito creme
Quartzo	50,8	49,4
Muscovita 1M	6,1	6,8
Microclínio	2,0	1,2
Muscovita 2M1	37,4	31,2
Caulinita	3,7	8,0
Rutilo	-	1,0
Goethita	-	2,4
TOTAL	100,0	100,0

De acordo com a TAB. 3, os minerais quartzo e muscovita são os componentes majoritários da rocha filito, justificando os altos valores de óxido de silício e o valor de óxido de alumínio (TAB. 2). O quartzo é inerte perante a ativação alcalina, como foi visto por Steveson (2005), Duxson *et.al.* (2007) e Skvara (2009). É adicionado na forma de areia no concreto, compondo os agregados miúdos, conforme a norma da ABNT NBR-7211 (2005). Assim, é esperado um efeito *filler* do quartzo nos geopolímeros de filito.

Microclínio está presente em quantidade relativamente pequena, enquanto que o FC possui ainda as fases minerais rutilo e goethita. A técnica de DRX não identificou nenhum composto com titânio no FB. Como este elemento está presente em pequena quantidade (0,61% por XRF, vide TAB. 3), pode não ter sido detectado por essa técnica. O Ti pode substituir o Al nas folhas octaédricas das micas (Fleet, 2003; Todor, 1976).

Moreto (2006) não identificou uma fase mineral responsável pela presença de  $Fe_2O_3$  tanto para o FB quanto o FC de Itapeva. É possível que devido à fluorescência, não tenha sido detectado por DRX com tubo de cobre. A utilização de tubo de cobalto neste trabalho permitiu a identificação de goethita no FC.

Através das porcentagens fornecidas pelo Método de Rietveld para cada fase mineral, foi calculada a composição química teórica dos filitos (Tabela 4) com a utilização das fórmulas químicas de cada mineral fornecido pelas fichas ICSD. Ao comparar a Tabela 4 com a Tabela 3, foi observado ausência de fases minerais que apresentam os elementos Ti, Fe, e Mg no FB. Isso indica que estes elementos podem estar presentes na forma de átomos substitucionais da muscovita e/ou caulinita. Os valores dos óxidos de silício e alumínio possuem valores acima do encontrado pela XRF, indicando a existência de substituições isomórficas nos minerais. Os elementos Na e Ca podem estar presentes nos espaços intercamadas das micas, substituindo o potássio (Fleet, 2003).

Como não foram identificadas fases minerais que expliquem a presença de agnésio e titânio no FB, é possível que estes elementos estejam relacionados à presença da muscovita misturada com outra mica, formando uma solução sólida.

Tabela 4 Composição química dos filitos calculada através dos valores encontrados pelo Método de Rietveld.

Óxidos	Composição em massa (%)	
	Filito Branco	Filito Creme
$SiO_2$	74,7	72,1
$Al_2O_3$	17,0	16,2
$Na_2O$	-	-
$CaO$	-	-
$K_2O$	5,1	4,5
$Fe_2O_3$	-	4,3
$MgO$	0,6	0,7
$TiO_2$	-	1

As formulas químicas dos minerais são apenas aproximações, pois existe variação da composição química devido às substituições isomórficas que podem ocorrer nas unidades estruturais. Assim, é normal a pequena variação na

composição mineralógica do FB como encontrado pela DRX e método de Rietveld em comparação com a XRF.

Para a síntese de geopolímeros, a maior quantidade de caulinita no FC pode significar um ataque alcalino mais eficaz que no FB, resultando em um geopolímero mais resistente à compressão. No entanto, a quantidade relativamente pequena da argila do tipo 1:1 (uma folha tetraédrica e uma octaédrica) misturada com o tipo 2:1 (duas folhas tetraédrica e uma octaédrica), torna a reação de ativação alcalina mais complexa, já que as diferentes estruturas não devem apresentar a mesma reatividade.

Foram calculadas as perdas de massas relacionadas à composição mineralógica fornecida pelo Método de Rietveld (Tabela 3) através das curvas TG obtidas para o FB e FC, mostradas na Figura 6. Foi encontrado um teor 3,7 % de caulinita e 45 % de muscovita para o filito branco. Para FC, o teor de caulinita encontrado foi de 7,9 %, e para muscovita foi de 46 %. Os teores de caulinita encontrados para ambos os filitos são semelhantes ao calculado pelo Método de Rietveld, ao contrário da muscovita. A discordância dos teores de muscovita indica que é possível alteração da fórmula estrutural devido a substituições isomórficas.

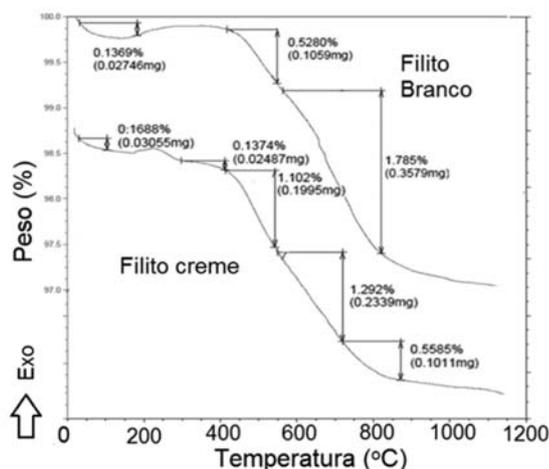


Figura 6 Análise termogravimétrica do filito branco e do filito creme.

## CONCLUSÕES

As composições química e mineralógica do filito o tornam um material único. Foi visto que apresenta alto conteúdo de quartzo, aproximadamente 50%, que apresenta a função de 'filler' nos cimentos, e ajuda a estabilizar as tensões quando submetido à compressão. Os minerais muscovita e caulinita, minerais susceptíveis ao ataque alcalino após tratamento térmico, estão presentes em até 40% da composição química do filito. A combinação dessas características torna o filito um material estratégico, ao ser utilizado como matéria prima dos novos cimentos geopoliméricos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a contribuição financeira da FAPERJ e CAPES e a Mineração Itapeva pelo fornecimento das amostras de filito e ao suporte prestado. Agradecemos também ao Dr. Reiner Neumann pelas análises de DRX e análises térmicas do Centro de Tecnologia Mineral e ao suporte técnico do Laboratório Multiusuário de Nanociência e Nanotecnologia do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211/2005 – Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, **2005**.
- Abreu, S. F.; Recursos Minerais do Brasil, Editora Edgard Blücher LTDA: São Paulo, 1973.
- Arnold, T.; Zorn, T.; Bernhard, G.; Nitsche, H.; Sorption of uranium (VI) onto phyllite; *Chemical Geology*, **1998**, 151,129.
- Beutelspacher, H.; Van Der Marel, H.W.; Atlas of electron microscopy of Clay minerals and their admixtures; Elsevier: Amsterdam, **1968**.
- Cornell, R.M.; Schwertmann, U.; The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses, 2a edição, Wiley-VCH: Weinheim, **2003**.
- Cullity, B.D.; Elements of X-ray Diffraction, 2a edição, Addison-Wesley Publishing Company INC:Philippines, **1978**.
- Davidovits, J.; Geopolymer Chemistry and Properties. In: Geopolymer '88 – First European Conference on Soft Mineralurgy. Compiègne, França, **1988a**, 1, 25.
- Davidovits, J.; Geopolymers of the First Generation: SILIFACE-Process. In: Geopolymer '88 – First European Conference on Soft Mineralurgy. Compiègne, France, **1988b**, 1, 49.
- Davidovits, J.; Structural Characterization of Geopolymeric Materials with X-Ray Diffractometry and MAS-NMR Spectroscopy. In: Geopolymer '88 – First European Conference on Soft Mineralurgy. Compiègne, France, **1988c**, 2, 149.
- Davidovits, J.; Geopolymers Inorganic Polymeric New Materials; *Journal of Thermal Analysis*; **1991**, 37, 1633.
- Davidovits, J.; Properties of geopolymer cements. In: Proceedings of the First International Conference Alkaline Cements and Concretes. Ucrânia, **1994**.
- Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zussman, J.; Rock-forming minerals: v. 3 Sheet silicates. Longman Group Limited: Londres, **1971**.
- Duxson, P.; Fernandez-Jimenez, A.; Provis, J.L.; et.al.; Geopolymer Technology: the current state of the art; *Journal of Materials Science*, **2007**, 42, 2917.
- Fleet, M.E.; Em Rock-forming minerals, sheet silicates: micas; Deer, Howie and Zussman; The Geological Society of London: Londres, 2a edição, **2003**, Volume 3A.
- Garzón, E.; García-Rodríguez, I.G.; Ruiz-Conde, A.; Sánchez-Soto, P.J.; Phyllites used as waterproofing layer materials for greenhouses crops in Spain: multivariate statistical analysis applied to their classification based on x-ray fluorescence analysis; *X-ray Spectrometry*, **2009**, 38, 429.
- Garzón, E.; Sánchez-Soto, P.J.; Romero, C.; Physical and geotechnical properties of clay phyllites; - *Applied Clay Science*, **2010**, 48, n. 3, 307.
- Kodama, H. Clay mineral. In: *Encyclopaedia Britannica Online*. Encyclopaedia Britannica; 2011; - Disponível: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/120723/clay-mineral>, acessada em abril de 2011
- Majidi, B.; Geopolymer technology, from fundamentals to advanced applications: a review; *Materials technology*, **2009**, 24, n. 2, 79-87.
- Moreto, A.L.R.; Características química, mineralógica e tecnológica dos filitos da região de Itapeva-SP empregados na indústria de cerâmica; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil, **2006**.
- Motta, J. F. M.; Cabral Junior, M.; Tanno, L. C.; Panorama das Matérias Primas Utilizadas na Indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo; *Cerâmica Industrial* **1998**, 3, n.

4-6, 30.

- Santos, P.S.; *Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras. Fundamentos*. Editora Edgard Blücher LTDA: São Paulo, **1975**.
- Santos, P. S.; *Ciência e tecnologia de argilas. Aplicações*. 2.<sup>a</sup> edição revisada e ampliada; Editora - Edgard Blücher LTDA: São Paulo, **1992**.
- Schomburg, J.; Zwahr, H.; *Thermal differential diagnosis of mica mineral group; Journal of Thermal Analysis*, **1997**, 48, 135.
- Skvara, F.; Kopecky, L.; Smilauer, V.; Bittanar, Z.; *Materials and structural characterization of alkali activated low-calcium Brown coal fly ash; Journal of Hazardous Materials* **2009**, 168, 711.
- Stevenson, M.; Sagoe-Crentsil, K.; *Relationships between composition, structure and strength of inorganic polymers. Part 1 Metakaolin-derived inorganic polymers; Journal of Materials Science*, **2005**, 40, 2023.
- Sudo, T.; Shimoda, S.; Yotsumoto, H.; Aita, S.; *Developments in sedimentology: electron micrographs of Clay minerals*, Kodansha LTD e Elsevier Scientific Publishing Company: Tokyo, 1981.
- Todor, D.N.; *Thermal analysis of minerals; Revised English edition*, Acabus Press: Kent, 1976.
- Valera, T.S.; Ribeiro, A.P.; Valenzuela-Díaz, F.R.; et.al.; *The effect of phyllite as a filler for PVC plastisols*. In: *Annual Technical Conference, Society of Plastics Engineers*, **2002**.
- *Web Mineral. Mineralogy Database*. Disponível: [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com) acessado em janeiro, fevereiro e abril, de 2011
- Xu, H.; *Geopolymerisation of Aluminosilicate Minerals; Tese em doutorado, University of Melbourne, Austrália*, 2002.
- Xu, H.; Van Deventer, J.S.J.; *Geopolymerization of multiple minerals; Int. J. Miner. Process* **2002**, 59, 1131.