



## APROVEITAMENTO DO REJEITO DE LAVRA DE ARDÓSIA PARA A PRODUÇÃO DE CARGA MINERAL

### REUSE OF SLATE WASTE FOR MINERAL FILLER PRODUCTION

Filipe Mattos Gonçalves<sup>1</sup>; João Walter Meneses Torres<sup>2</sup>; Aline da Luz Pascoal<sup>2</sup>;  
Telma Ellen Drumond Ferreira<sup>2</sup>; Eugênio Eustáquio Ferreira<sup>2</sup>;  
Júnia Soares Alexandrino<sup>2</sup>

Artigo recebido em: 04/11/2018 e aceito para publicação em: 13/06/2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i2.12320>

**Resumo:** A exploração da ardósia gera uma grande quantidade de resíduos, principalmente nas suas fases de extração e de beneficiamento, dando origem a passivos ambientais. No intuito de minimizar esse impacto, este trabalho teve como objetivo aproveitar o rejeito de ardósia para produzir cargas minerais, que são amplamente utilizadas na fabricação de materiais compósitos. Com este propósito, o resíduo de ardósia foi coletado da pilha de rejeito de uma mineradora próxima a cidade de Pompéu/MG, sendo caracterizado tecnologicamente e também por processos de cominuição para adequação de granulometria. Analisando os resultados, constatou-se que este rejeito satisfaz as especificações para ser utilizado como potencial carga mineral, devido à alta porcentagem de sílica e alumina e enquadramento abaixo de 0,045mm após moagem, características estas semelhantes à de cargas já utilizadas no mercado. Desta maneira, essa possível reutilização pode contribuir de forma significativa para a gestão dos resíduos sólidos na mineração e minimização dos impactos ambientais.

**Palavras-chave:** Ardósia. Rejeito. Cargas Minerais. Impacto ambiental. Reutilização.

**Abstract:** The exploitation of slate generates a large amount of waste, mainly in the extraction and processing stages, giving rise to environmental liabilities. In order to minimize this impact, this work aimed to reuse the slate waste to produce mineral fillers, which are widely used in the manufacture of composite materials. With this purpose, the slate residue was collected from the waste pile of a mining company near the city of Pompéu / MG, being technologically characterized and also by comminution processes for granulometry adequacy. Analyzing the results, it was verified that this waste meets the specifications to be used as potential mineral filler, due to the high percentage of silica and alumina and granulometry below 0.045 mm after milling, showing similar characteristics to those already used in the market. In this way, this possible reuse can contribute significantly to solid waste management in mining and minimization of environmental impacts.

**Keywords:** Slate. Residue. Mineral Fillers. Environmental impact. Reuse.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG. E-mail: [filipemattosg@hotmail.com](mailto:filipemattosg@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Belo Horizonte, MG. E-mails: [joaohc3d@yahoo.com.br](mailto:joaohc3d@yahoo.com.br), [alineluzpascoal@gmail.com](mailto:alineluzpascoal@gmail.com), [telmaellen@hotmail.com](mailto:telmaellen@hotmail.com), [eugenioferreira@gmail.com](mailto:eugenioferreira@gmail.com), [juniaalexandrino@yahoo.com.br](mailto:juniaalexandrino@yahoo.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A progressiva preocupação com a produção e descarte de resíduos advindos da exploração mineral, principalmente no que tange os fatores econômicos e ao meio ambiente, tem apurado a procura por novos métodos de processamento que ajudem a minimizar este fato. Neste caminho, tem-se a ardósia que é uma das principais rochas ornamentais encontradas no mundo, especialmente em países como Espanha e Brasil, que são grandes exportadores da mesma (SILVA, 2015). No entanto, a exploração da ardósia gera uma grande quantidade de resíduos, criando passivos ambientais.

Minas Gerais, grande estado produtor de ardósia, sofre com os problemas ambientais causados pela extração e beneficiamento dessa rocha. Na região que engloba os principais municípios produtores, como por exemplo Papagaios, Pompéu, Pitangui, Paraopebas e Felixlândia é possível encontrar diversas pilhas de rejeito de ardósia dispostas de forma irregular ou sem a devida revegetação imposta por lei. Além disso, pequenas serrarias espalhadas ao redor destes municípios despejam o rejeito proveniente do beneficiamento da ardósia em bota-foras ilegais ou até mesmo em beiras de estradas e lotes baldios. A população da região já se acostumou a conviver com esse impacto visual, que poderia ser revertido através de estudos de reaproveitamento dos resíduos da ardósia de uma forma sustentável.

Desse modo, uma alternativa para tal situação seria o aproveitamento do rejeito de ardósia proveniente dessa extração para a produção de cargas minerais. As cargas minerais são substâncias não orgânicas compostas por grãos pouco flexíveis que são incorporados à massa de diversos produtos, como por exemplo: polímeros, tintas e sabões, gerando os ditos materiais compósitos (ROTHON, 1995). As principais cargas utilizadas são a muscovita, quartzo, calcita, dolomita, talco, pirofilita e barita, sendo que, cada tipo de carga possui propriedades e características diferentes, e essas são influenciadas pelo tamanho da partícula, forma, dureza, composição química e estrutura cristalina (LIMA, 2007).

Essas cargas atualmente ocupam posição de destaque na formulação de compósitos poliméricos. As atribuições básicas da incorporação de minerais em polímeros evoluíram da simples substituição econômica e estratégia das resinas, intensificada pela crise do petróleo nos anos 70, para funções mais específicas como materiais de

aprimoramento de propriedades do compósito final (CIMINELLI, 2003). Estudos revelam que em compósitos com polímeros, as cargas minerais são adicionadas no intuito de se reduzir o custo, melhorar o processamento, controle da densidade, efeitos ópticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética e propriedades mecânicas (SAKAHARA, 2012).

Com este propósito, pesquisas realizadas por Carvalho *et al.* (2012) se propuseram a utilizar resíduo de ardósia gerado nos processos de corte e beneficiamento de diferentes granulometrias como carga em compósitos de matriz de polipropileno. Foi observado que os compósitos com resíduos de ardósia não apresentaram variações nos resultados quando comparados entre si, mas quando comparados ao polipropileno sem carga, observou-se uma melhoria em suas propriedades.

Neste contexto, este trabalho objetiva a utilização do rejeito proveniente da lavra de ardósia para a produção de uma potencial carga mineral para ser utilizada em materiais compósitos. Portanto, essa reciclagem de materiais pode contribuir tanto para mitigar um problema ambiental causado pelo descarte inadequado da ardósia no meio ambiente, quanto gerar um produto que atenda as especificações das indústrias consumidoras de cargas minerais.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

As amostras de ardósia utilizadas no presente estudo foram coletadas em uma mina localizada na cidade de Pompéu – MG, pertencente a empresa Micapel. A amostragem foi realizada na pilha de rejeitos da empresa, obtendo-se o resíduo denominado como rejeito de ardósia fraturada em sacos plásticos de 20kg, previamente limpos para evitar contaminação. Tal amostra foi encaminhada ao laboratório de Tratamento de Minérios da UEMG - unidade João Monlevade para os ensaios de cominuição e classificação. Primeiramente, o rejeito de ardósia (cerca de 6 kg) foi fragmentado no britador de mandíbulas modelo BM 120080, com abertura de 19,7mm.

Após essa etapa, o material britado foi quarteado e uma alíquota de 1 kg foi encaminhada para uma etapa de cominuição à seco no moinho de bolas modelo MA 701/21 com diâmetro de 308 mm, velocidade de 49,54 rpm (65% do valor da velocidade crítica), com a utilização de 100 corpos moedores de formato esférico com

aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, durante o tempo de uma hora para maior redução de granulometria, objetivando a adequação das cargas minerais utilizadas no Brasil, que é de 45 micrômetros (LIMA, 2007; SAMPAIO, 2007).

Em seguida, foi realizada a etapa de classificação do resíduo moído, através do peneiramento a úmido, sendo este realizado no peneirador suspenso. As malhas utilizadas foram: 30# (0,600 mm), 35# (0,425 mm), 60# (0,250 mm), 100# (0,150 mm), 140# (0,106 mm), 200# (0,074 mm), 270# (0,053 mm), 325# (0,045 mm) e o fundo (passante da peneira de 325#). Optou-se pelo peneiramento a úmido, pois segundo Sampaio (2007), este peneiramento é o mais indicado e eficiente para frações de granulometria fina.

A caracterização química e mineralógica foi realizada através da fluorescência de raios X e difração de raios X, respectivamente. Tais técnicas têm sido amplamente utilizadas na análise de materiais, sendo considerados em geral métodos de fácil operação e alta confiabilidade, permitindo a identificação dos elementos, como também proceder à sua quantificação (BARBOSA e BERTOLINO, 2010).

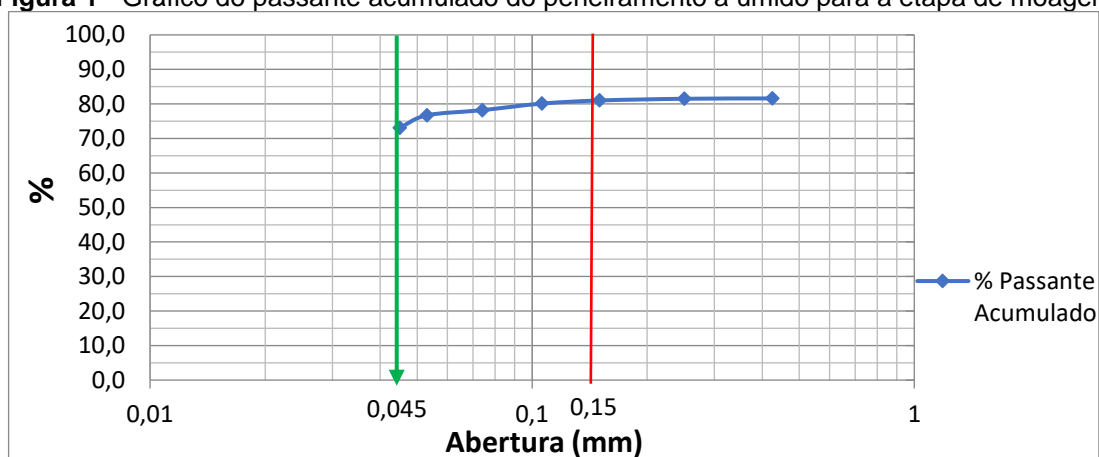
Portanto para a análise de fluorescência de raios x, retirou-se uma alíquota de 350g para análise no espectrômetro Philips modelo PW1480. Uma vez que alguns compostos químicos como Sílica, Ferro e Alumínio são geralmente encontrados em rochas ardósias, optou-se pela determinação do teor dos 10 óxidos majoritários. Já a difração de raios x foi realizada em parceria com Centro de Tecnologia Mineral-CETEM-RJ, no laboratório de Caracterização Tecnológica- SCT.

Por fim, com o auxílio de literatura, as características químicas e físicas do rejeito de ardósia foram comparadas às características e especificações das principais cargas minerais utilizadas em compósitos atualmente.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A seguir são relatados os resultados das etapas de fragmentação e classificação para o rejeito de ardósia fraturada. Após a etapa de moagem, o rejeito foi classificado quanto a sua granulometria, assim de posse dos resultados, plotou-se o gráfico (Figura 1) em escala logarítmica no eixo das abcissas, no intuito de representar o passante acumulado em função da abertura das peneiras.

**Figura 1** - Gráfico do passante acumulado do peneiramento a úmido para a etapa de moagem



Com base nos dados apresentados, pode-se inferir que 81% da amostra é considerada ultrafina, ou seja, granulometria abaixo de 0,15mm (representado pela linha vermelha). Os outros 19% da amostra é considerada como de granulometria fina, pois se apresenta na faixa entre 6,35mm e 0,15mm.

Vale ressaltar que aproximadamente 73% da amostra de rejeito de ardósia passou na peneira de 0,045mm (marca representada pela linha verde), mostrando que o material se enquadrou em grande parte na especificação de granulometria da cargas minerais utilizadas no Brasil, que devem estar abaixo de 0,045mm.

No que diz respeito as características químicas e mineralógicas do rejeito de ardósia fraturado, a tabela 1 a seguir apresenta os resultados da fluorescência de raios X.

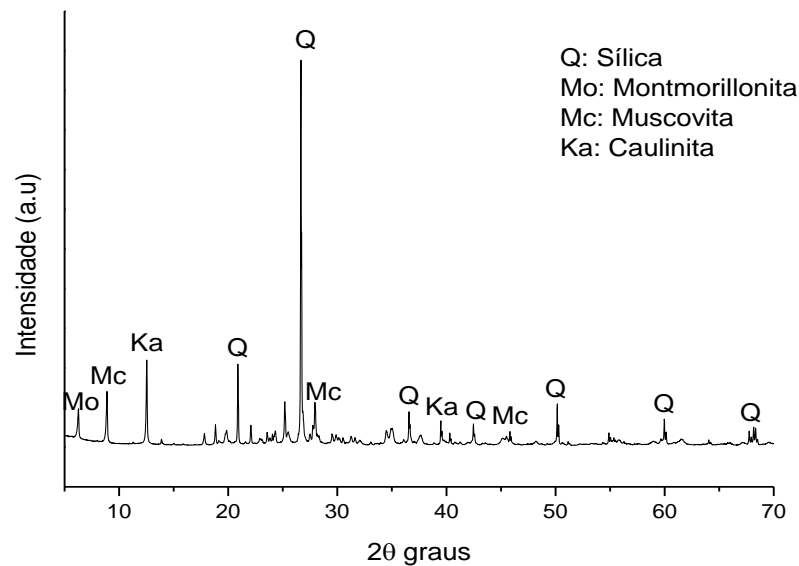
**Tabela 1** - Caracterização química para o rejeito de ardósia fraturado

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Rejeito de ardósia (%)	60,6	16,7	7,23	2,16	3,54	0,74	0,17	1,74	3,81

A análise química revelou altos teores de sílica, alumina e ferro para a amostra de rejeito de ardósia estudada, estando em concordância com as demais bibliografias. Além desses compostos químicos, também foram observados teores consideráveis de cálcio, magnésio e potássio.

A análise mineralógica realizada através da difração de raios X é apresentado no difratograma (Figura 2) abaixo.

**Figura 2 - Difrátograma para a amostra de rejeito de ardósia fraturada**



Como pode ser observado, a difração de raios X mostrou a grande presença de quartzo (sílica), estando condizente com a análise por fluorescência de raios X. Ademais, foram encontradas fases minerais importantes como a muscovita e caulinita.

A figura 3 apresenta a composição química dos principais minerais utilizados como carga mineral no Brasil. Quando confrontados os teores dos compostos químicos presentes no resíduo estudado com os teores presentes nos principais minerais utilizados como cargas, pode-se inferir que o mesmo tem potencial para ser empregado com tal finalidade, uma vez que apresenta composição similar com alguns desses minerais.

**Figura 3 - Composição química dos principais minerais utilizados como carga mineral**

	Talco	Pirofilita	Caulinita	Esmectita	Muscovita	Calcita	Dolomita	Quartzo	Wolastonita	Barita
Fórmula química	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	$(Si_4O_{10})Al_2(OH)_2$	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	$(Mg,Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot Si_2O_5 \cdot nH_2O$	$K \cdot Al_2Si_2AlO_{10}(OH, F)_2$	$CaCO_3$	$CaMg(CO_3)_2$	$SiO_2$	$CaSiO_3$	$BaSO_4$
Composição	31,8 MgO 63,3 SiO <sub>2</sub> 4,7 H <sub>2</sub> O	28,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 66,7% SiO <sub>2</sub> 5,0% H <sub>2</sub> O	39,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 46,5% SiO <sub>2</sub> 14% H <sub>2</sub> O	0,6 K <sub>2</sub> O 2,3 Na <sub>2</sub> O 2,1 CaO 39,0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45,9 SiO <sub>2</sub> 9,1 H <sub>2</sub> O	11,8% K <sub>2</sub> O 38,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45,2% SiO <sub>2</sub> 4,2% H <sub>2</sub> O	53,0% CaO, 44,0% CO <sub>2</sub>	30,4% CaO, 21,7% MgO, 47,7% CO <sub>2</sub>	46,7% Si, 53,2% O	48,2 % CaO, 51,7 % SiO <sub>2</sub>	34,4% SO <sub>3</sub> , 65,7% BaO

**Fonte:** Adaptado de Lima (2007)

O fato dos minerais como pirofilita, caulinita, muscovita, quartzo, talco e ardósia também conterem a sílica como principal composto químico em porcentagem, reforça a possibilidade do uso desse resíduo como carga mineral em compósitos. Além disso,

foram encontrados teores de alumínio, cálcio, magnésio e potássio no rejeito de ardósia, que também estão presentes nos minerais utilizados como cargas, porém em menores proporções.

No caso deste trabalho, a presença de ferro no resíduo de ardósia estudada é considerada como uma impureza, visto que, nenhuma das cargas minerais exibidas no quadro 2 apresentam teores consideráveis de ferro em sua composição.

#### **4 CONCLUSÃO**

O descarte inadequado dos resíduos provenientes da extração da ardósia tem se tornado um passivo ambiental, assim é de extrema importância destinar este material para um aproveitamento adequado. Dessa forma, sua utilização como possível carga mineral pode ser uma alternativa interessante para minimizar este impacto.

O material ultrafino obtido pela cominação do rejeito de ardósia fraturada, mostrou-se dentro da granulometria adequada para ser utilizado como carga mineral. Além disso, as análises mineralógica e química revelaram que as fases minerais e teores encontrados, principalmente de Sílica e Alumina, são semelhantes e estão condizentes com as cargas já utilizadas no mercado para a fabricação de materiais compósitos no Brasil.

Porém, é importante ressaltar que devem ser realizadas aplicações experimentais da carga produzida com rejeito de ardósia em produtos que utilizam carga mineral como matéria-prima, no intuito de conhecer melhor essa interação e analisar as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Os autores do trabalho gostariam de agradecer a Micapel pela doação das amostras para estudo e o CETEM-RJ pela realização das análises de difração de raios X.

#### **REFERÊNCIAS**

SILVA, R. K. R. Propostas de aproveitamento de resíduos de ardósia da cidade de Pompéu, Minas Gerais. **Revista Intercâmbio**, v. 5, p. 86-95, 2015.

ROTHON, R. **Particulate filled polymer composites**. London: Longman Scientific and Technical, 1995.

LIMA, A. B. T. **Aplicações de cargas minerais em polímeros**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

CIMINELLI, R. R. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. **Recursos Minerais Industriais**. Brasília: Editora UNB, 2003. p. 503-539.

SAKAHARA, R. M. **Estudo da formação da fase cristalina Beta nos compósitos de polipropileno contendo anidrido maléico e carbonato de cálcio**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

CARVALHO, V. F. et al. Efeito do tamanho das partículas de ardósia nas propriedades de compósitos de PP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 12., 2013. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Polímeros, 2013.

SAMPAIO, J. A. **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. 3. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

BARBOSA, M. I. M; BERTOLINO, L. C. **Tratamento de minérios: caracterização mineralógica de minérios parte I**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.