



HOLOS

ISSN: 1518-1634

holos@ifrn.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte
Brasil

GARCIA, N. H.; RODRIGUES, M. M. L.; LIMA, M. M. F.; LIMA, R. M. F.
CARACTERIZAÇÃO DE TALCO PURIFICADO DE RESÍDUOS DE PEDRA SABÃO
HOLOS, vol. 3, 2014, pp. 69-77
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Natal, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481547172009>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

CARACTERIZAÇÃO DE TALCO PURIFICADO DE RESÍDUOS DE PEDRA SABÃO

N. H. GARCIA¹, M. M. L. RODRIGUES², M. M. F. LIMA³ e R. M. F. LIMA⁴

Universidade Federal de Ouro Preto

neylor_henrique@hotmail.com¹ - mitchel.marques@yahoo.com² - margarida@em.ufop.br³ -rosa@demin.ufop.br⁴

Artigo submetido em novembro/2013 e aceito em julho/2014

DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1870>

RESUMO

Nesse trabalho estão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização de talco purificado de resíduos de pedra sabão, oriundos de Santa Rita de Ouro Preto, após lixiviação de concentrados de flotação com ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) e ácido clorídrico (HCl). A caracterização tecnológica desses materiais constou de análise granulométrica, efetuada por espalhamento de raios laser (Cilas 1064), difração de raios X (método do pó total), análises químicas, efetuadas por espectroscopia ótica de emissão-plasma de acoplamento indutivo além da determinação de alvura

ISO. Para os concentrados de flotação lixiviados com ditionito de sódio e ácido clorídrico foram obtidas alvuras de 73,7 e 79,6%, respectivamente, representado aumento de 3 e 9% em relação a alvura do concentrado da flotação. Verificou-se que cerca de 80% das partículas das amostras de talco lixiviadas encontravam-se abaixo de 10 μm . Os minerais identificados nos difratogramas de raios X foram talco e clinocloro. O maior aumento da alvura do produto lixiviado com HCl, está relacionado com a diminuição dos teores de Fe_2O_3 , Ni, Zn em relação à alimentação (concentrado da flotação).

PALAVRAS-CHAVE: Talco; pedra sabão, alvura, flotação, lixiviação

CHARACTERIZATION OF PURIFIED TALC FROM WASTE OF SOAPSTONE

ABSTRACT

This work present the results of technological characterization performed with purified talc from soapstone residues from Santa Rita de Ouro Preto, after leaching flotation concentrates with sodium dithionite and hydrochloric acid. The technological characterization consisted of size distribution performed by laser diffraction (Cilas 1064), X ray diffraction (total powder method), chemical analysis, performed by optical emission spectroscopy – inductively coupled plasma, density and whiteness ISO determinations. The

whiteness of purified talc with sodium dithionite and hydrochloric acid were of 70.3 and 79.6%, respectively. This means an increase of 3 and 9% compared with flotation concentrate whiteness. About 80% of talc particles in leached samples were smaller than 10 μm . The minerals talc and clinocllore were identified in X ray patterns. The higher increase in whiteness with hydrochloric acid is related with the decrease of Fe_2O_3 , Ni, Zn compared with feed (flotation concentrate)

KEYWORDS: Talc; soapstone, whiteness, floatation, leaching

1 INTRODUÇÃO

As rochas talcosas são provenientes de calcários e de rochas ígneas ultrabásicas com teores de MgO e SiO₂ acima de 20 e 50%, respectivamente. Dependendo da região podem receber denominações diferentes, esteatito, pedra sabão e saponito, que é uma rocha constituída por 35% de talco e acima de 25% dos minerais clorita, quartzo, calcita, dolomita, magnesita, tremolita, anfibólio, piroxênio e hematita (Dana, 1984, Pinheiro, 1974, Kusvart, 1984).

Na região de Ouro Preto existem diversas pedreiras de esteatito ou pedra sabão, que é extraída e exportada em forma de blocos para a Europa onde, após o desdobramento dos blocos em placas, é utilizada na construção de lareiras. Outra aplicação dessa rocha é na fabricação de ornatos em cantaria, como balaústres e colunas. É o produto mais valorizado. Além da rocha “sã” de boa qualidade são produzidas e vendidas para o artesanato (fabricação de painéis, objetos de adorno, etc.) rochas de qualidade inferior (“mais mole”) e o talco, que ocorre em bolsões, que também é vendido para empresas de cerâmica.

Na tabela 1 estão apresentadas as composições químicas de oito amostras de quatro pedreiras da região de Bandeiras de Santa Rita de Ouro Preto, utilizadas em oficinas de artesanato daquela localidade, as quais produzem grande quantidade de partículas de diversos tamanhos, desde o corte das peças e durante o polimento dos objetos, que são descartados como entulho próximo aos córregos, o que posteriormente pode provocar o assoreamento dos mesmos.

Tabela 1 – Composição química de amostras de pedra sabão da região de Bandeiras - Santa Rita de Ouro Preto – MG.

Amostra	Elementos (ppm)				Oxidos (%)					
	Pb	As	Mn	Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	PPC
I	< 0,25	28,83	881	53,3	37,12	3,53	35,23	1,73	6,71	15,68
II	<0,25	2,07	740	26,14	33,95	1,59	37,20	0,25	5,05	21,96
III	< 0,25	1,021	1133	49,37	34,44	1,51	35,51	1,28	7,79	19,36
IV	<0,25	<0,05	216,9	<0,01	57,22	1,00	33,15	0,12	3,43	5,08
V	< 0,25	1,638	742	40,56	30,99	0,60	37,24	0,12	7,54	23,51
VI	< 0,21	4,349	1576	14,72	25,57	0,69	40,40	0,61	3,50	29,23
VII	< 0,25	3,657	871	4,024	34,48	0,80	38,33	0,30	4,07	22,02
VIII	< 0,25	12,55	2523	16,6	7,52	0,14	41,48	4,41	2,54	43,91

Fonte: Lima et al. (2009).

Devido a baixa dureza e maciez do talco (1 na escala de Mohs), alta habilidade de cobertura, alto ponto de fusão, inércia química, baixa condutividade elétrica, alta capacidade de absorção de gordura, cor, óleos, resinas, baixa higroscopia e cor branca, quando puro, o mesmo é utilizado na indústria têxtil para impregnação de tecidos, indústria de sabonetes, pasta de dentes, indústria de cosméticos de modo geral, indústria de borracha (produção de tubos isolantes de fiações elétricas e na vulcanização), na indústria química como catalisador devido a grande área superficial. Quando puro é utilizado na indústria farmacêutica. No caso de pureza

variável é uma importante matéria prima para cerâmica elétrica (Kusvard, 1984; Pontes e Almeida, 2005).

Nos ensaios de purificação de resíduos de uma oficina de artesanato, que trabalhava exclusivamente com rocha da região de Bandeiras, usando deslamagem e separação magnética, foram obtidas especificações para inseticidas e indústria têxtil, empregando flotação foram alcançadas especificações para aplicações em tintas (espalhador) e papel (carga). Após lixiviação com ácido clorídrico foram alcançadas especificações para indústria de plástico além das aplicações citadas anteriormente (Rodrigues, 2010; Rodrigues e Lima, 2012).

Nesse trabalho são apresentados os resultados de caracterização tecnológica dos concentrados de flotação após a lixiviação com ditonito de sódio e ácido clorídrico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foi utilizada uma amostra de resíduo de pedra sabão abaixo de 74 μm (200#), proveniente de Santa Rita de Ouro Preto. A densidade da mesma era 2,9818g/cm³, área superficial igual a 2,7861 m²/g, alvura ISO de 54% e d₈₀ igual a aproximadamente 36 μm (Rodrigues, 2010).

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma dos ensaios de purificação e caracterização da amostra de resíduo de pedra sabão.



Figura 1 – Fluxograma de purificação e caracterização da amostra de resíduo de pedra sabão.

2.1 Ensaios de Purificação

Os ensaios de deslamagem foram efetuados da seguinte forma: transferência de 500 g de resíduo de pedra sabão para a cuba de 4 L, descida do rotor da célula de flotação da marca Cimaq para a posição desejada e finalmente adicionava-se 2820 ml de água para obtenção de uma polpa com 15% de sólidos. Posteriormente, ajustava-se a rotação da célula para 1200 rpm e

deixava-se a polpa sob agitação por 3 minutos. Finalmente, desligava-se a célula, levantava-se o rotor e deixava-se a polpa sedimentando por 10 minutos. Em seguida, era efetuado o sifonamento do “sobrenadante”. Este procedimento era repetido por duas vezes. Finalmente, o material sifonado e afundado eram filtrados, secados a temperatura de 105 °C em estufa por 1 hora e meia.

Os ensaios de flotação efetuados com as amostras de resíduo previamente deslamado foram efetuadas nas condições otimizadas por Rodrigues (2010) com porcentagem de sólidos de 14 %, 500 g/t de metassilicato de sódio e 150 g/t de metil isobutil carbinol (MIBC).

O preparo das soluções de reagentes (metassilicato de sódio e MIBC) utilizadas nos ensaios de flotação foi efetuado da seguinte forma:

- i. para o preparo da solução de metassilicato de sódio a 0,5 % p/v, pesou-se 0,5g de metassilicato que foi diluído em 100 ml de água destilada em um balão volumétrico;
- ii. para o preparo da solução de MIBC a 0,25% p/v, pesou-se 0,25g de MIBC e diluindo-o com água destilada em balão volumétrico de 100 ml.

Os ensaios de lixiviação do produto flotado com ditionito de sódio e ácido clorídrico foram efetuados nas condições otimizadas por Rodrigues (2010) conforme descrito abaixo:

- a) Ditionito de sódio: uma solução com concentração de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ a 1% p/v, 20% de sólidos e tempo de lixiviação igual a 120 minutos. O procedimento adotado foi o seguinte:
 - i. preparar a solução de ditionito de sódio a 1% p/v, colocando 2,5 g de ditionito de sódio em um balão de 250 ml completando-o com água destilada;
 - ii. introduzir 23 g de talco purificado por flotação em um béquer de 200 ml e adicionar 87 ml de água destilada em pH 5 (ajustado com solução de ácido sulfúrico) e 6 ml de solução de ditionito de sódio ficando com uma suspensão com 20 % de sólidos;
 - iii. verificar o valor do pH e deixar agitar em uma rotação de 600 rpm por 120 minutos em temperatura ambiente;
 - iv. efetuar a filtragem e secar o produto a uma temperatura aproximadamente de 105°C por 1 hora e meia.
- b) Ácido clorídrico

Uma solução de HCl a 4M, temperatura de 80 °C, porcentagem de sólidos de 15% e tempo de lixiviação igual a 60 minutos. O procedimento adotado foi o seguinte:

- i. preparar uma solução de HCl a 4M colocando 168 ml de HCl em um balão volumétrico de 500 ml completando-o com água destilada;
- ii. transferir 95 ml da solução de HCl a 4M para um béquer contendo 17 g de talco purificado por flotação, formando uma suspensão com 15% de sólidos;

- iii. aquecer essa suspensão até 80 °C. Logo em seguida agitar em uma rotação de aproximadamente 700 rpm por 60 minutos. Sendo a temperatura verificada por um termômetro nesse período, variando-a em uma faixa entre 78 e 82 °C;
- iv. filtrar e secar o produto em estufa a 105 °C por um tempo de 1 hora e meia.

2.2 Caracterização Tecnológica

Os ensaios de caracterização física das amostras lixiviadas constaram de análise granulométrica utilizando granulômetro a laser CILAS 1064, determinação de densidade usando um picnômetro a gás Ultracpnometer 1000 e determinação da área superficial das partículas usando o equipamento BET Nova 1200 do Laboratório de Propriedades Interfaciais do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP.

A caracterização mineralógica foi feita através da difração de raios X (método do pó total). Para a obtenção dos difratogramas de raios X (2° a 70°), foi utilizado o difratômetro de raios X tipo 11076186 da PanAnalytical do Laboratório de Difração de Raios X do DEGEO/UFOP. A radiação utilizada foi $K_{\alpha Cu} = 1,54 \text{ \AA}$.

As análises químicas das amostras foram efetuadas por espectrofotometria de emissão atômica com fonte de plasma (ICP-OES) modelo Ciroc CCD da marca Spectro do Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia/UFOP. Os elementos químicos analisados foram Al, As, Ca, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb, Ti e Zn. O teor de SiO_2 foi obtido por diferença.

Para determinação de alvura ISO dos produtos da deslamagem, flotação e das amostras lixiviadas foi utilizado o espectrofotômetro Color Touch model do Laboratório de Propriedades Interfaciais do DEMIN/UFOP. O procedimento para a confecção das pastilhas para medida de alvura das amostras constou de:

- i. quebrar o produto até obter uma alíquota de aproximadamente 50 g;
- ii. secar a amostra em estufa a uma temperatura aproximadamente de 105 °C em um vidro relógio;
- iii. pulverizar a amostra por 1 minuto em um moinho orbital, usando panela de tungstênio;
- iv. confeccionar um corpo de prova para o teste, utilizando a prensa Powder Press Apparatus.

Essa confecção foi feita em um pequeno cilindro oco, que era colocado em cima de uma superfície lisa de vidro sobre uma balança, em seguida colocou-se o material no cilindro e aplicou-se uma força de aproximadamente 56,70 kgf.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se pela Figura 2 que não houve diferença entre as distribuições granulométricas das amostras de talco lixiviado com ditonito de sódio e com ácido clorídrico. Ou seja, o d_{80} das mesmas foi de aproximadamente 75 μm e que cerca de 10% das partículas encontravam-se abaixo de 10 μm .

Na Tabela 2 estão apresentadas as composições químicas e a alvura do produto afundado, das amostras lixiviadas com ditionito de sódio e com ácido clorídrico.

As densidades das amostras de talco lixiviadas com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ e com HCl foram de 2,8929 g/cm^3 e 2,9471 g/cm^3 , respectivamente. Estes valores estão dentro das especificações para a aplicação em tintas (2,8 a 2,9 g/cm^3) e são ligeiramente menores do que o valor de densidade da amostra de resíduo de pedra sabão (2,9818 g/cm^3), provavelmente, devido à remoção parcial de sulfetos e magnetita, que são minerais de densidades mais altas. As áreas superficiais foram de 1,8259 m^2/g e 2.6639 m^2/g , respectivamente para as amostras de talco, previamente purificadas por flotação, lixiviadas com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ e HCl, respectivamente. Esta diferença entre os valores medidos não está coerente com as distribuições granulométricas, que foram praticamente iguais para as duas amostras (Figura 2). No entanto, pode-se afirmar que os menores valores das áreas superficiais das amostras lixiviadas em relação à alimentação (2,7861 m^2/g) estão relacionados com a distribuição granulométrica ($d_{80} = 74 \mu\text{m}$) das mesmas serem mais grosseiras do que da alimentação ($d_{80} = 36 \mu\text{m}$), devido à remoção das partículas finas com a operação de deslamagem antes da flotação. No entanto, há de salientar que a análise granulométrica da alimentação foi efetuada por peneiramento e dos produtos lixiviados por granulômetro a laser, cujos valores de tamanho de partículas, normalmente são maiores do que os tamanhos medidos por peneiramento.

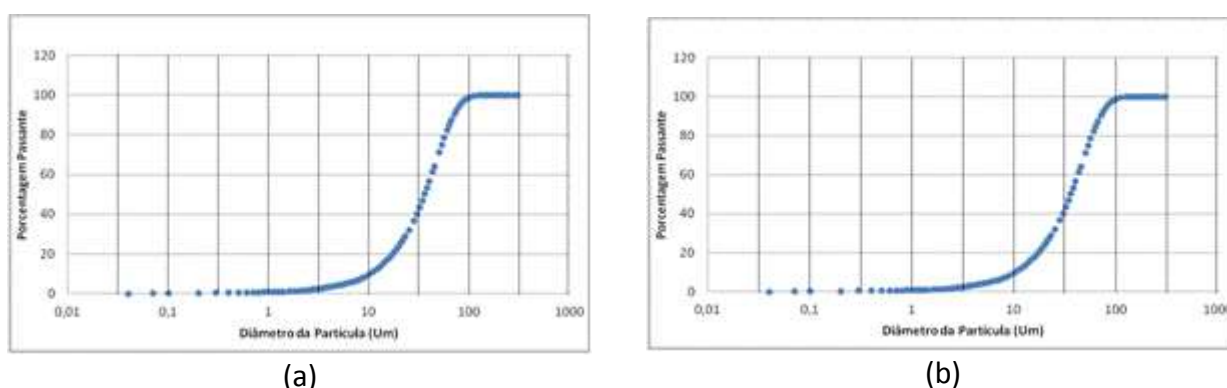


Figura 2 – Distribuição granulométrica da amostra de talco lixiviada com ditionito de sódio (a) e ácido clorídrico (b)

Tabela 2 – Composição química das amostras de talco lixiviadas com ditionito de sódio e com ácido clorídrico.

Teor		Amostra de talco		
		Alimentação	Lixiviado com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	Lixiviado com HCl
(%)	Al_2O_3	2,27	1,355	0,013
	MgO	27,7	31,41	30,11
	CaO	0,580	0,028	0,036
	TiO_2	0,051	0,054	0,050
	Fe_2O_3	4,7	3,43	3,55
	SiO_2	58,55	57,42	59,78
(ppm)	PPC	5,98	6,12	6,28
	Ni	1956	1727	1715
	Cu	13,4	-	-
	Zn	85,8	65,8	59,3
Densidade (g/cm^3)		2,982	2,893	2,947

Alvura % (ISO)	54,00	73,7	79,6
----------------	-------	------	------

*Alvura ISO do produto flotado – 70,9%

**Alvura ISO do produto afundado – 59,5

Lima et al. (2012) através de difratometria de raios X dos resíduos de pedra sabão da região de Bandeiras identificaram os seguintes minerais: talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), caolinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), clorita ($(\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) e nimita ($(\text{Ni},\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})\text{O}(\text{OH})$) em todas as faixas granulométricas analisadas. Através de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura de amostras de pedra sabão de Bandeiras, Lima et al. (2009) identificaram sulfetos: pirita (FeS_2), arsenopirita (FeAsS), pentlandita ($(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$); carbonatos: magnesite (MgCO_3), dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e óxidos: magnetita/hematita ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Fe}_2\text{O}_3$), ilmenita (TiO_2). Logo, os teores dos compostos e elementos químicos presentes na alimentação e nos produtos lixiviados estão coerentes com a mineralogia de amostras de pedra sabão da região de Bandeiras.

Nos difratogramas de raios X das amostras lixiviadas tanto com ditionito de sódio e como com ácido clorídrico foram identificados os minerais talco e clinocloro. Na Figura 3 está apresentado o difratograma típico das amostras lixiviadas, com os picos principais dos minerais identificados. Os demais picos são atribuídos à superposição de picos dos dois minerais identificados. A não identificação dos demais minerais identificados em trabalhos prévios (Lima et al., 2012) pode estar relacionada com o baixíssimo teor dos minerais nas amostras analisadas.

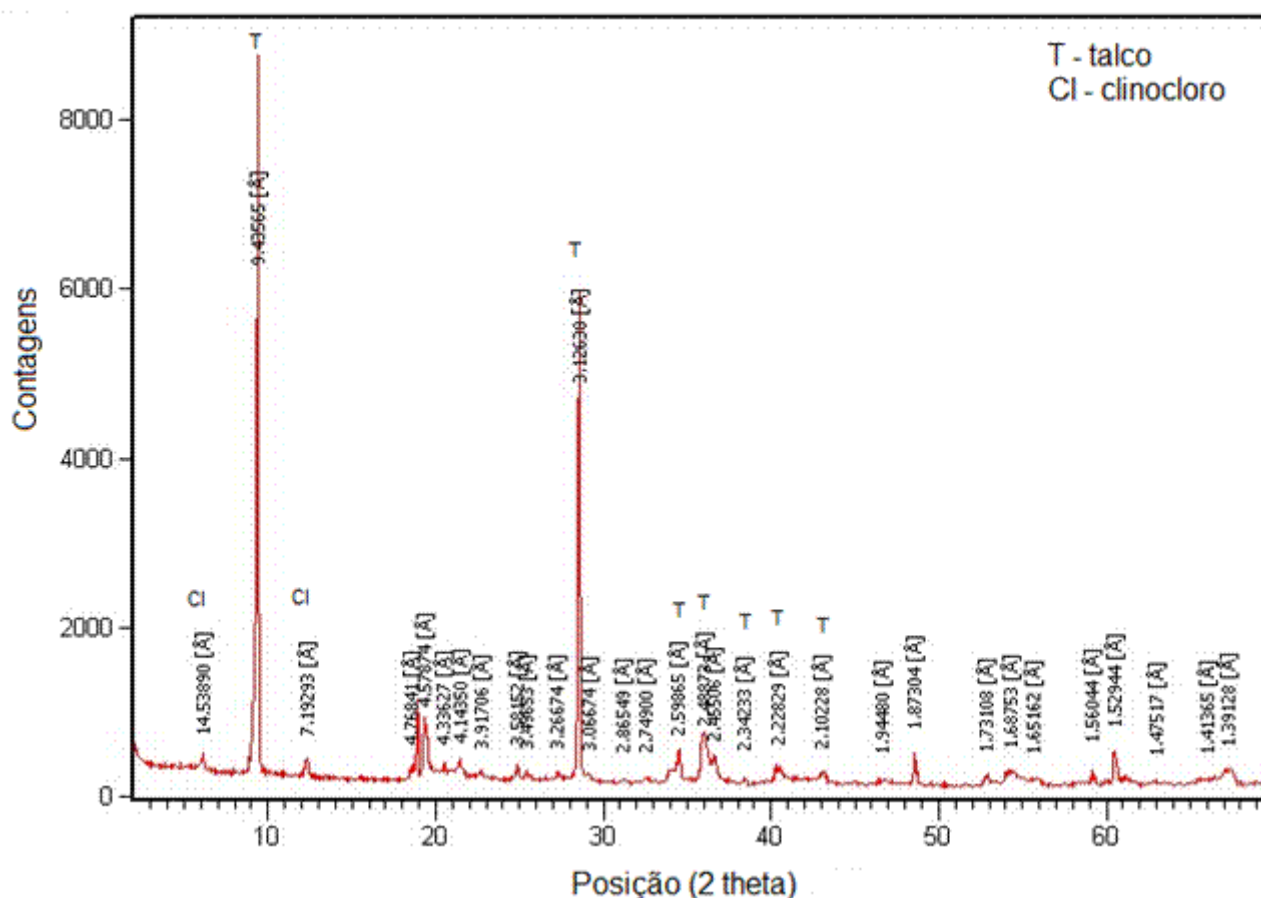


Figura 3 – Difratograma de raios X típico das amostras lixiviadas.

Observa-se pela Tabela 2 diminuição acentuada do teor de Al_2O_3 em relação à alimentação, que provavelmente está relacionado com a remoção de caolinita na deslamagem do material e remoção de nimita pela lixiviação com HCl, uma vez que não foi identificado este mineral na difração de raios X dos produtos lixiviados. Observa-se também que houve pequena remoção de pentlandita da amostra, uma vez que a redução do teor de Zn foi pequena em relação a teor de Zn na alimentação.

A diminuição do teor de Fe_2O_3 no produto lixiviado com ditionito de sódio e consequente aumento da alvura em relação à alimentação (produto flotado), está relacionado com a redução do Fe^{3+} da magnetita para Fe^{2+} (Luz, et al., 1990). Pela redução dos teores de CaO e MgO e aumento considerável da alvura com lixiviação da amostra com HCl, pode-se inferir que houve remoção de carbonatos e sulfetos da amostra lixiviada (Ahmed et al., 2007).

Pelos resultados de teores e alvura dos produtos lixiviados foram alcançadas especificações para as seguintes aplicações: inseticida (granulometria abaixo de $43\ \mu\text{m}$), tintas pigmentos (alvura 77 a 87%, MgO: 24 a 32 %, SiO_2 : 50 a 65%, $\text{CaO} \leq 9\%$, $\text{MgO} + \text{SiO}_2 \geq 88\%$, $\text{CO}_2 \leq 1\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 6\%$, $\text{H}_2\text{O} + \text{MV} \leq 1\%$ $\text{PPC} \leq 7\%$, peso específico entre 2,8 a 2,9 g/cm^3) e espalhador (granulometria 100% abaixo de $74\ \mu\text{m}$ e 96,5% abaixo de $43\ \mu\text{m}$, alvura – 65 a 87%, $\text{SiO}_2 + \text{MgO} \geq 75\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2\%$ $\text{H}_2\text{O} + \text{M.Vol.} < 1\%$, $\text{PPC} \leq 7\%$, peso específico entre 2,8 e 2,9 g/cm^3 e partículas lamelares (Rodrigues e Lima, 2012 e 2011)), carga para papel (95 % menor que $37\ \mu\text{m}$, alvura 54 e 75%) e plástico (100% menor que $74\ \mu\text{m}$ e alvura superior a $74\ \mu\text{m}$) (Pontes e Almeida, 2005).

4 CONCLUSÕES

A distribuição granulométrica dos produtos lixiviados foi maior e consequentemente, as áreas superficiais dos mesmos foram maiores do que da alimentação, provavelmente devido à remoção das partículas finas pela deslamagem, especialmente a caolinita. A menor densidade dos produtos lixiviados em relação à alimentação está relacionada com a remoção de sulfetos. Os minerais identificados nos difratogramas das amostras lixiviadas foram talco e clinoclóro. Levando em consideração os teores obtidos após lixiviação do produto flotado com ditionito de sódio verificou-se aumento da alvura do produto lixiviado de cerca de 3% em relação ao produto flotado (70,9%), que está relacionado à remoção da magnetita, que ocorre pela redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} . Na lixiviação do produto flotado com ácido clorídrico foi alcançada alvura de 79,6%, que está relacionada com a solubilização e remoção de sulfetos e carbonatos, presentes no material. Com esses valores de alvura o talco pode ser aplicado para fabricação de papel (carga), tintas (pigmento) e plástico.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig pelo apoio financeiro, à CAPES pela bolsa de mestrado, ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa e à UFOP pela bolsa de iniciação científica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, M. M., IBRAHIM, G. A., HASSAN, M. M.A. Improvement of Egyptian talc quality for

- industrial uses by flotation process and leaching. *International Journal of Mineral Processing*. 83, 132-145. 2007.
2. DANA, J. D., HURLBULT, C. S. In: *Manual de Mineralogia*, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. II, Rio de Janeiro - RJ, p.642, 1984.
 3. KUZVART, M. *Industrial Minerals and Rocks*. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo. 1984. 454p.
 4. LIMA, R. M. F., BRAGA, D. M., SILVA, F. B. R. Technological Characterization of Soap Stone from Santa Rita de Ouro Preto/Brazil. *Proceedings of the V International Materials Symposium*, Lisboa, Portugal, p. 1-6, 2009.
 5. PINHEIRO, J.C.F. Perfil Analítico do Talco, Departamento Nacional de Produção Mineral, Boletim 22 – Ministério das Minas e Energia. Rio de Janeiro, BRASIL, 1974, p.41.
 6. PONTES, I. F., ALMEIDA, S. L. M. Talco. In: *Rochas e minerais industriais usos e especificações*. LUZ, A. B., LINS, F. F. (Ed.). Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2005. 623p.
 7. RODRIGUES, M. L. M. Caracterização Tecnológica de Resíduos de Pedra Sabão de Oficinas de Artesanato em Pedra Sabão da Região de Ouro Preto. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, 2010. 137p. (Dissertação de Mestrado).
 8. RODRIGUES, M. L. M., LIMA, R. M. F., Cleaner production of soapstone in the Ouro Preto region of Brazil: a case study. *Journal of Cleaner Production*. 32, 2012, p. 149-156.