

FLOTAÇÃO APLICADA A GRANITOS PEGMATÓIDES DE EQUADOR – RN

¹Marcelo Rodrigues

²Adriano Peixoto Leandro

RESUMO

A produção de revestimentos cerâmicos e de vidros consome 87,5% dos feldspatos extraídos dos pegmatitos. A não adequação, tanto granulométrica como química, aos processos cerâmicos tem gerado perdas significativas de minerais industriais. O desenvolvimento de novas rotas tecnológicas pode viabilizar a oferta de novos minerais industriais, fomentando de certo modo a utilização de insumos minerais com maior qualidade agregada. Os feldspatos produzidos no Rio Grande do Norte em geral são de boa qualidade, com teores elevados de álcalis e baixos de óxido de ferro, adequados para uso nas indústrias de cerâmica branca e de vidro. O feldspato rico em albita é considerado de primeira; o feldspato potássico é classificado como de segunda ou de terceira (quando está contaminado com impurezas). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo principal beneficiar o pegmatito da região de Equador-RN, para obter um concentrado de feldspato que possa ser utilizado na produção industrial para construção civil. Foram empregadas duas técnicas, concomitantes: as análises por difração de raios X e fluorescência de raios X, que fornecem como resultados a composição mineralógica qualitativa e a relação dos elementos constituintes com a sua proporção na forma de óxidos (quantitativa), respectivamente. Por meio dessa combinação (caracterização químico-mineralógica), é possível determinar a composição mineralógica das fases presentes, nas amostras de alimentação, no concentrado e no rejeito.

Palavras-chave: flotação, caracterização química, feldspatos pegmatíticos.

ABSTRACT

The ceramic tiles and glass production consumes 87.5 % of feldspars extracted from pegmatites. The unsuitability of particle size and chemistry, the ceramic processes have generated significant losses of industrial minerals. The development of new technological routes can enable the supply of new industrial minerals, fostering a sense the use of mineral fertilizers with higher aggregate quality. The feldspars produced in Rio Grande do Norte are generally of good quality, with high levels of alkali and low iron oxide, suitable for use in white ceramic and glass industries. The rich feldspar albite is considered first; the potassic feldspar is ranked second or third (when contaminated with impurities). Thus, this study aims to benefit the pegmatite of Ecuador -RN region to get a feldspar concentrate that can be used in the production of industrial building construction. Two technique analyses were employed: analyses, x-ray diffraction and x-ray fluorescence, which provide the mineralogical and chemical composition, respectively. Through this combination (chemical and mineralogical characterization), it is possible to determine the mineralogical composition of the phases present in the head samples, concentrate and tailings.

Keywords: flotation, chemical characterization, granites-pegmatites.

¹Professor DSc. do Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *campus* Campina Grande, marceloquimica@gmail.com

²Técnico de Laboratório do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *campus* Campina Grande, adrianopeixoto@ifpb.edu.br

INTRODUÇÃO

O granito é uma rocha intrusiva formado por lava vulcânica endurecida, composto por minerais como o quartzo, micas (responsável pela cor) e feldspatos (silicato). O território nacional é rico na extração desse material, o que possibilita uma utilização ampla em diversas finalidades, dentre elas destaca-se o segmento da construção civil. Essa rocha é largamente utilizada em piso e escadas de alto tráfego, pias, balcões, lavatórios, revestimentos de fachadas e bancadas em geral, devido a sua alta resistência, maior dureza (raramente acontece riscos) e durabilidade elevada. Para produção de revestimentos requer-se uma certa quantidade de rocha bruta ou beneficiada.

Atualmente, grande parte dos processos produtivos são fontes geradoras de resíduos, que se apresentam na forma de gases, líquidos ou sólidos, podendo causar grande degradação ambiental. Dessa forma, a face atual da construção civil tem como perspectiva: a reutilização dos resíduos sólidos. Haja vista que, o uso de rochas ornamentais, como o granito, tem se destacado cada vez mais no cenário construtivo nacional. A produção dessas rochas é dividida em extração, corte, serragem e polimento dos blocos de pedra. Durante todo esse processo de produção, as perdas podem ser da ordem de 30 a 40%. Dessa forma, surge a preocupação com relação ao destino dos resíduos que sobram, se tais materiais forem descartados em rios ou lagos ocasionarão impactos ambientais negativos. Portanto, é necessário um local apropriado para o descarte destes detritos ou a utilização dos mesmos para a produção de outros componentes utilizados na própria construção civil (GONÇALVES, *et al.*, 2002). Além do mais, o problema da produção de granito em qualquer parte do mundo não está relacionado diretamente à produção dos materiais mais elaborados, mas sim nos subprodutos (derivados do não aproveitamento de todo o material por condições geológicas desfavoráveis) tais como a brita 25 e 18 que geram enorme quantidade de poeira fina, altamente nociva a vida humana e ao meio ambiente, também responsável por inúmeros passivos ambientais. Diante desta problemática, observa-se que o reaproveitamento desses fragmentos, gerados durante o processamento da brita ou cortes de chapas de granito, que, dependendo do teor de feldspato, poderá ter aplicações no processamento de revestimentos cerâmicos ou na fabricação de cimentos. Entretanto, são necessários estudos sobre as características do granito, bem como a sua composição química e resistência mecânica, voltado para fins da construção civil. No Brasil a quantidade estimada da geração do resíduo de corte granito é de 165.000 ton/ano (SILVA, *et al.*, 2005).

DESENVOLVIMENTO

No Brasil, as ativações vulcânicas ocorreram em um passado distante, visto que o mais recente ocorreu na Era Cenozóica (Terciário). O material magnético resultante forma o postigo, cujo forma a rocha metamórfica (ígnea). Em virtude da pressão e temperatura, as rochas poderão apresentar alguns materiais, como o granito, que são encontradas em grandes profundidades, de maneira que sua existência depende de fatores determinantes como os fluidos em circulação - resultantes da erupção, magna - e o tempo em uma determinada temperatura. O granito é uma rocha intrusiva formado por lava vulcânica endurecida, composto por minerais como o quartzo, micas (responsável pela cor) e feldspatos, que são tectossilicatos subdivididos em: **1)** potássicos ($(K,Na)AlSi_3O_8$ (microclina, ortoclásio e sanidina); **2)** série isomórfica calcio-sódica ou plagioclásios ($NaAlSi_3O_8$ - albita, $CaAl_2Si_2O_8$ - anortita, além dos termos intermediários oligoclásio, andesina, labradorita e bitownita) e **3)** feldspatos de bário [$BaAl_2Si_2O_8$ - celsiana e hialofana - $(K,Ba)Al (Al,Si)_3O_8$]. Os dois primeiros conjuntos mineralógicos são os principais formadores dos corpos pegmatíticos homogêneos e heterogêneos constituintes da Província Pegmatítica do Rio Grande do Norte e Paraíba. Esses feldspatos (produzidos no Rio Grande do Norte), em geral, são de boa qualidade, com teores elevados de álcalis e baixos de óxido de ferro, adequados para uso nas indústrias de cerâmica branca e de vidro. O feldspato rico em albita é considerado de primeira; o feldspato potássico é classificado como de segunda ou de terceira (quando está contaminado com impurezas). A produção de revestimentos cerâmicos e de vidros consome 87,5% dos feldspatos extraídos dos pegmatitos do Estado (SOUZA, *et al.*, 2007).

Os passivos decorrentes da lavra e beneficiamento de corte do granito são de responsabilidade não só da mineração, enquanto atividade extrativista, mas também da construção civil que adquire grande número dos produtos de origem mineral. Desta maneira, a construção civil assume este encargo: encontrar soluções para problemas dessa ordem, já que elas afetarão diretamente os fatores da disponibilidade dos produtos, e conseqüentemente, o preço de mercado. Tradicionalmente, resíduos são dispostos em aterros e muito geralmente descartados diretamente no meio ambiente, sem qualquer processo de tratamento ou imobilização. Todavia, alternativas de reciclagem e/ou reutilização devem ser investigadas e, sempre que possível, implementadas. A abordagem ambiental mais recente objetiva o desenvolvimento sustentável, minimizando o descarte de materiais, estimulando o reaproveitamento dos resíduos gerados nos diversos setores da economia (RAUPP-PEREIRA,

et al., 2006) A reutilização e a reciclagem de resíduos, após a detecção de suas potencialidades são consideradas atualmente alternativas que podem contribuir para a diversificação de produtos, diminuição dos custos de produção, fornecer matérias-primas alternativas para uma série de setores industriais, conservação de recursos não renováveis, economia de energia e, principalmente, melhoria da saúde da população. As atividades mineradoras que não apresentam controle sustentável sobre seu processo desencadeiam sérios problemas à saúde dessa mesma sociedade, que apresentam bens materiais de última geração, mas sofre pela insalubridade do meio ambiente extremamente poluído (SOUZA, *et al.*, 2004). Em virtude da enorme quantidade de resíduos gerados pelo beneficiamento do corte do granito, e o elevado grau de prejuízo gerado ao meio ambiente quando ocorre descartes inadequados, surge a necessidade da criação de novas formas de utilização dos resíduos acumulados no processo de produção de granito, como o uso desses produtos em ligas, massas e no próprio cimento na construção civil. A reutilização desses resíduos é uma das alternativas mais aceitáveis para o desenvolvimento sustentável, pois ocorre redução do consumo de recursos naturais, de energia, como também dos impactos ambientais ocasionados, além de promover inovações de produção, promoção de menor custo e ampliação do mercado construtivo. Segundo o CONAMA, os materiais como o granito proveniente das construções são conceituados como RCC (Resíduos de Construção Civil) classificados à categoria Classe A, cujo os seus destinos devem proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental. Semelhantemente, o Programa Nacional do Meio Ambiente respalda no artigo 9, “ V - os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologias, voltadas para melhoria da qualidade ambiental”, haja vista, que as análises física, química e ambiental do material deverá resultar parâmetros de acordo com as normas da ABNT - NBR 11004 e NBR 1575) (LUZ, A. B., *et al.* 2005), tendo em vista uma maior aceitação dos consumidores.

O objetivo desse trabalho é a caracterização química do resíduo de granito gerado em uma pedreira do município de Equador-RN, seguido da aplicação da técnica de flotação (e a sinergia dos diferentes efeitos dos parâmetros operacionais desse processo), como ferramenta para a separação dos minerais contidos nesse pegmatóide, objetivando o aproveitamento mais racional dos minerais de interesse econômico, particularmente o feldspato, que são importantes no meio industrial, pois apresentam fusibilidade, capacidade de vidrar e de induzir a fusão em temperaturas mais baixas no domínio da fabricação de vidro e revestimento cerâmicos

METODOLOGIA

Inicialmente, foi feita uma amostragem de 100 kg da fração denominada rejeito do desbaste (Figura 01) do granito de certa mineradora do município supracitado. Na etapa seguinte, a partir da homogeneização da amostra global, em pilha triangular, seguida de quarteamento, foram retiradas amostras de 20 kg. Para realizar os ensaios em laboratório, foi feito uma nova pilha de homogeneização com uma massa de 20 kg, obtendo alíquotas de 1,0 kg. O minério foi moído a 80% abaixo de 28 malhas, em moinho de bolas com 50% de sólidos e deslamado em peneira de 0,044 mm (325 malhas). Os estudos de flotação foram realizados no Laboratório de Flotação do *campus* Campina Grande do IFPB, utilizando-se para tal, uma célula DENVER modelo D12 (Figura 2), com uma cuba de 3 L e amostras de 0,5 kg, previamente moída. Vazão de ar utilizada foi 4L/min. Essa separação envolve uma etapa de deslamagem, seguida do condicionamento da polpa e, o estágio de flotação. Apenas o coletor Flotigam EDA® (dodeciléter amina), da Clariant foi utilizado. O ajuste do pH foi realizado com uma solução de NaOH. As condições do teste estão sumariadas na Tabela 01.

O material em estudo trata-se de uma amostra de pegmatóide, com composição majoritária de feldspatos, mas com traços de quartzo e uma quantidade de mica variável e irregular distribuição. Os feldspatos são os constituintes principais dos pegmatitos simples e são comuns em filões minerais; sua composição química é uma característica fundamental, principalmente em relação aos teores de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), álcalis (K_2O e Na_2O) e óxido de ferro (Fe_2O_3).

Foi utilizada a técnica da Espectrometria de Fluorescência de Raios-X para determinação do conteúdo de Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, P, Mn e Ti. Os resultados são expressos na forma dos óxidos constituintes, utilizando-se um espectrômetro de fluorescência de raios-X (FRX-WDS) Shimadzu modelo XRF-1800.

Os difratogramas de Raios X foram obtidos utilizando um Difratômetro, marca Shimadzu, modelo Lab X/XRD-6000, na faixa de $2\theta = 15 - 80^\circ$, com um passo de $0,02^\circ$ e tempo de passo de 2,0 s, utilizando a radiação $K\alpha$ do cobre como fonte de radiação monocromática. As análises química e mineralógica do material foram realizadas no Laboratório de Solidificação Rápida da UFPB. As imagens das amostras foram obtidas com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de Bancada Phenom ProX. As amostras foram colocadas na estufa à 50°C por 30 minutos para retirar a umidade e, nesse equipamento, não necessitam de serem metalizadas.

Tabela 01 – Condições operacionais e sistema de reagentes do processo de flotação do granito-pegmatóide.

Tempo de cada estágio (minutos)	pH _i – pH	Coletor (g/t) Flotigam EDA	Fração	Massa (g)	Recuperação Mássica (%)	
Deslamagem	3		Deslamagem	8	1,6	
Condicionamento	1	10,20 - 9,91	100	Concentrado	86	17,2
Flotação	5		Rejeito	405	81,0	
			Alimentação	500	100	

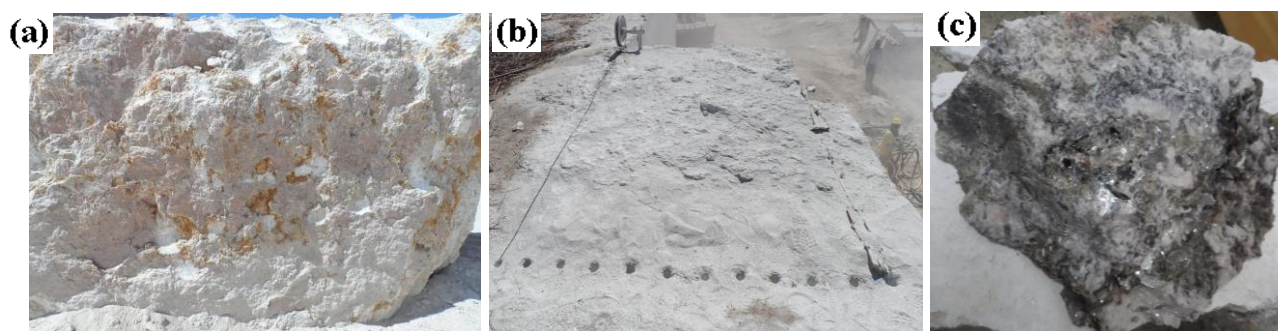


Figura 01 – Amostra do granito pegmatóide: (a) natural; (b) sendo cortada e (c) após desbaste

Optou-se pela flotação inversa do feldspato com a finalidade de remover o ferro contido no minério sob a forma de óxidos (Fe_2O_3), utilizando-se uma etapa *rougher* e uma etapa *scavenger*. Deste modo, o concentrado final de feldspato será o produto afundado da flotação na etapa *scavenger*. A seguir as Tabela 02 e 03 mostra os reagentes e as condições operacionais para esses testes.

Tabela 02 – Reagentes dos Testes de Flotação dos **Minerais Ferrosos** no Feldspato Pegmatítico

Condição	Coletor (100 g/t)	Espumante (50 g/t)	Produto	Massa (g)	Recuperação Mássica (%)
T1	Flotisor	Óleo de Gergelim	Alimentação	234	0,84
			Concentrado	1,98	
			Rejeito	232	
T1	Witiconate	Óleo de Gergelim	Alimentação	234	4,62
			Concentrado	10,82	
			Rejeito	223	

Tabela 03 – Condições dos Testes de Flotação dos **Minerais Ferrosos** no Feldspato Pegmatítico

Tempo de Acondicionamento e de Flotação (minutos)	% sólidos	Velocidade de Rotação (rpm)	pH _i – pH _f (H ₂ SO ₄)	Vazão de ar (L/min)
Extensor de cadeia	---			
coletor	4	800	3,0 - 4,0	natural
Espumante	---			
Flotação	5			

RESULTADOS E DISCUSSÃO

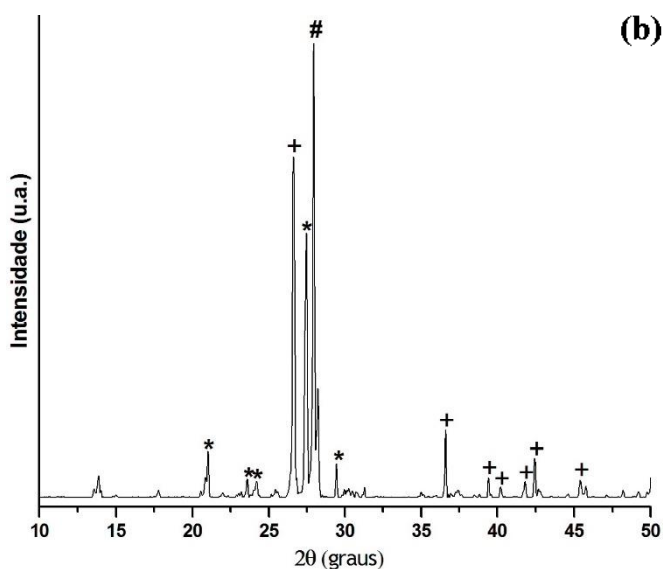
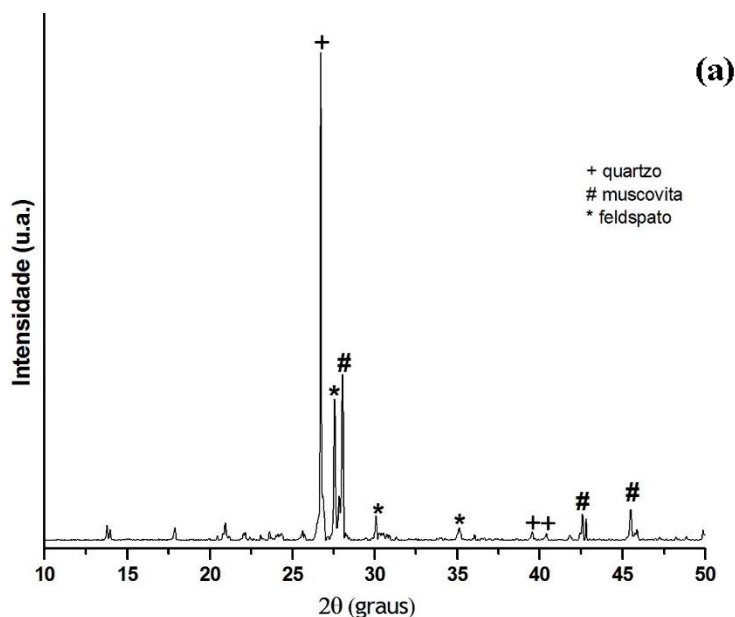
A seguir são mostradas na Figura 02 o aspecto físico da espuma gerada na flotação do granito-pegmatóide. Verificou-se que as espumas possuíam resistência característica de partículas flotadas com boa adesão à bolha. Portanto, a secagem do material se tornou fácil, pois não houve arraste de água da polpa, devido à boa hidrofobicidade das partículas e, consequentemente, agregados estáveis.



Figura 02 – Espumas geradas durante a flotação do granito-pegmatóide.

Observa-se nos difratogramas de raios-X, Figura 03 (b) e (c) que ocorreu a flotação preferencial da mica, entretanto uma parte do feldspato também flotou. Como esperado, não houve uma flotação considerável do quartzo. Por outro lado, todas as fases mineralógicas apresentam picos na fração de rejeito.

Os resultados da FRX (Tabela 04) e da análise mineralógica, por DRX, são consistentes entre si, pois os teores de K_2O nas análises químicas encontram-se em torno de 5,5%, indicando a presença de feldspato potássico (microclínio, $KA_1Si_3O_8$) com maior intensidade em $27,56^\circ$; enquanto que em $28,04^\circ$ identifica-se a muscovita. Os teores de Na_2O apresentam-se em torno de 3,0%, o que indica a presença de feldspato sódico (albita ou oligoclásio). A análise por Difração de Raios X apresentou o principal pico em 2θ $26,72^\circ$ (100%), do quartzo (o teor de SiO_2 é elevado na amostra).



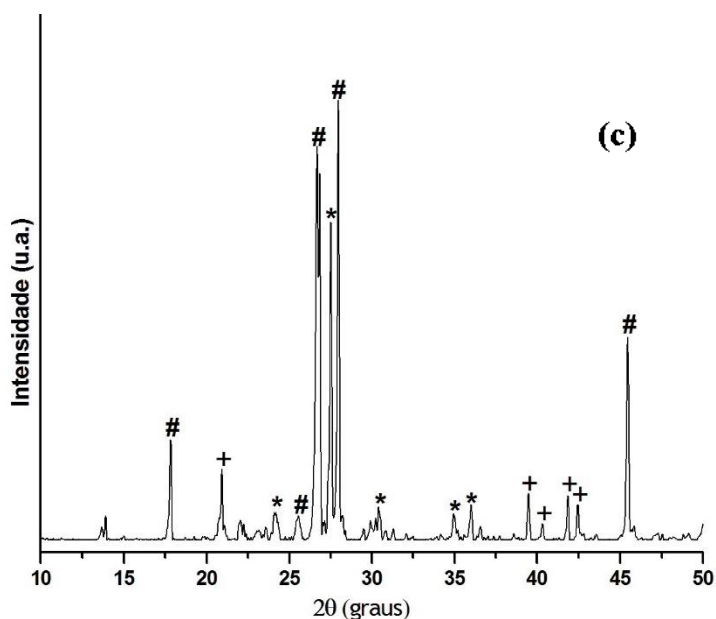


Figura 03 – DRX do granito-pegmatóide: (a) alimentação, (b) rejeito e (c) flotado

Tabela 04 – Resultado da Fluorescência de Raios-X para a Flotação do Granito-Pegmatóide

Óxido	Frações (%)			
	ALIMENTAÇÃO	DESLAMADO	CONCENTRADO	REJEITO
SiO ₂	73,9502	72,5827	70,8370	74,0773
Al ₂ O ₃	15,8911	16,5864	17,9434	14,9389
K ₂ O	5,2587	5,5780	6,3617	5,3874
Na ₂ O	3,2736	3,2675	2,7427	3,6196
CaO	0,7825	0,9126	0,6301	1,1045
Fe ₂ O ₃	0,2605	0,3880	0,4883	0,3160
MgO	0,1764	0,2360	0,4616	0,1339
MnO	0,1739	0,1006	0,1040	0,2249
P ₂ O ₅	0,1368	0,1552	0,1092	0,1330
TiO ₂	0,0304	0,0361	0,0722	0,0273
SO ₃	0,0273	0,0264	0,0316	-----
Rb ₂ O	0,0261	0,0310	0,0406	0,0295
CuO	0,0049	0,0164	0,0091	0,0078
ZrO ₂	0,0040	0,0071	0,0048	-----
ZnO	0,0037	-----	0,0051	-----
Cr ₂ O ₃	-----	0,0106	-----	-----
NbO	-----	-----	0,0062	-----
PPC	-----	0,0654	0,1524	-----

As micrografias eletrônicas de varredura, MEV (Figura 04) com elétron secundário das frações das amostras do granito-pegmatóide de Equador (RN) indica que os tamanhos dos cristais da alimentação e do rejeito situam-se entre 100 a 200 µm. Enquanto que os agregados flotados possuem, no máximo, 80 µm. Entretanto, verifica-se que a maioria das partículas flotadas são bem menores do que o valor máximo. Podem, ainda, indicar também que houve muito arraste hidráulico das partículas finas para o flotado e que a deslamagem pode não ter

vido também tão eficiente, uma vez que se observa partículas muito finas na alimentação e nos dois produtos gerados da flotação.

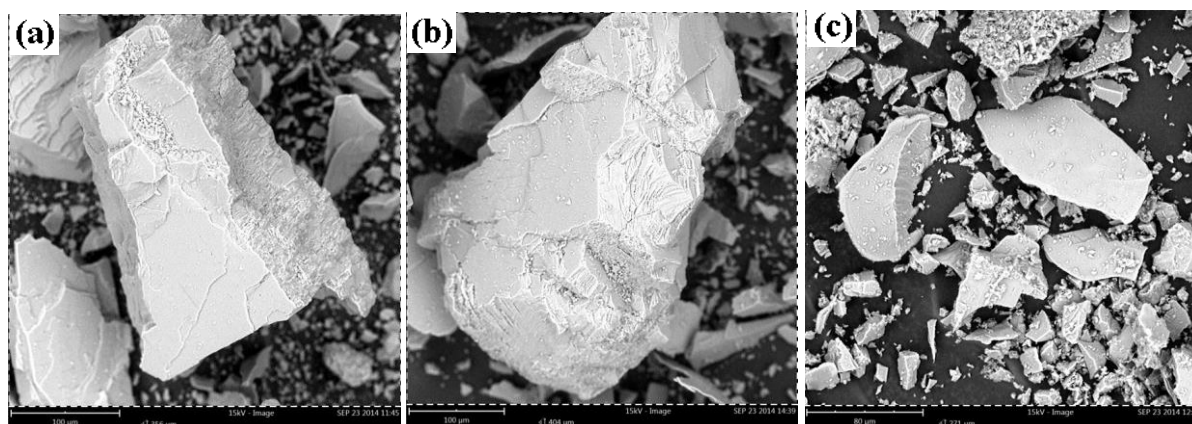


Figura 04 – Imagem (MEV) de cristais do granito-pegmatóide: (a) alimentação, (b) rejeito e (c) agregados flotados.

Quadro 01 – Teores das espécies, via FRX, para o concentrado e rejeito da flotação inversa do feldspato

Espécie Química	Flotado	Rejeito
SiO₂ (%)	68,007	46,141
Al₂O₃ (%)	16,389	30,648
Fe₂O₃ (%)	2,524	4,893
P₂O₅ (%)	1,488	1,042
SO₃ (%)	0,483	0,197
Cl (%)	0,593	0,456
CaO (%)	2,143	-----
TiO₂ (%)	0,108	0,613
MnO (%)	1,284	0,438
K₂O (%)	6,818	15,283
Cr₂O₃ (ppm)	560,2	131,5
Rb₂O (ppm)	465,1	1760
ZrO₂ (ppm)	242,9	85,1
Co₃O₄ (ppm)	210,2	-----
NiO (ppm)	147,2	-----
CuO (ppm)	-----	75,2
ZnO (ppm)	-----	302,3
Nb₂O₅ (ppm)	-----	547,3
SUM (%)	99,999	100,00

O coletor utilizado foi altamente seletivo para os minerais ferrosos, haja vista o aumento da concentração de óxido férrico no rejeito.

CONCLUSÕES

O granito-pegmatóide de Equador-RN, em estudo, é constituído basicamente por feldspato sódico e potássico, muscovita e quartzo. Esses minerais encontram-se liberados na granulometria inferior a 589 μm (28 *Mesh*).

No processo de flotação, no qual se utilizou o coletor Flotigam EDA (etermonoamina de cadeia carbônica ramificada), que se mostrou pouco seletivo, pois não promoveu o aumento significativo na concentração de feldspato no produto final. Para obter um concentrado de feldspato com teores mais elevados de álcalis, deve-se estudar outros sistemas de reagentes, como por exemplo, a utilização de um extensor de cadeia (óleo natural) pode ser mais benéfico para que os minerais de quartzo e muscovita sejam coletados na espuma.

A partir dos resultados obtidos da caracterização química das amostras, após ensaios de flotação (Quadro 01), pode-se inferir como destaque as concentrações de K_2O , pois é geralmente relacionado seu aumento no concentrado em se tratando de enriquecimento de feldspato. Já que de acordo com os resultados anteriores, o mineral microclínio foi o de maior relação com feldspato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição da amostra da alimentação é majoritariamente formada por feldspato potássico (microclínio e ortoclásio), com traços de albita (feldspato sódico), além da mica muscovita. Após os ensaios de flotação para a retirada da mica muscovita, verifica-se que o concentrado desse teste é rico dessa fase, com traços de albita e microclínio. O rejeito é rico em feldspato e quartzo, como era de se esperar.

Após a análise química, via Fluorescência de Raios-X, foi possível quantificar a fase ferrosa e perceber que seu valor, em comparação com a da alimentação, se mostra viável para a utilização do material, sem que haja comprometimento na qualidade, com relação à possibilidade de reações de oxidação ou mudanças de cor.

REFERÊNCIAS

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C.. “Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto”. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2002.

LUZ, A. B. e COELHO, J. M., “Feldspato”, In: Luz, A. B., Lins, F.F. (eds), *Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações*, 1ª ed., capítulo:19, Rio de Janeiro, Brasil, CETEM/MCT, 2005.

RAUPP-PEREIRA, F., HOTZA, D., SEGADÃES, A.M., *et al.*, “Ceramic Formulations Prepared with Industrial Wastes and Natural sub-products”, *Ceramics International*, v. 32, n. 2, pp 173-179, 2006.

SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. “Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas”. *Cerâmica* 51, pp 325-330, 2005.

SOUZA, T.F; ARAÚJO, S.P; LIMA, R.F.S; MELO, J.V. “Análise da Composição Química de Minerais Pertencentes ao Grupo dos Feldspatos na Região do Seridó”. In: Congresso Brasileiro de Química, 47, Natal/RN. Anais. Natal, 2007.p. 521- 532, 2007.

SOUZA, L.P.F., MANSUR, H.S., “Production and Characterization of Ceramic Pieces Obtained by slip Casting Using Powder Wastes”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 145, pp. 15-20, 2004.