

CARACTERIZAÇÃO DE GRANITOS PARA APROVEITAMENTO COMO MATÉRIA PRIMA PARA VIDRO

Sant'Agostino, L.M.

e-mail: agostino@usp.br

Rua do Lago 562, Cidade Universitária 05508-900

Departamento de Geologia Econômica do Instituto de Geociências da USP

Kahn, H.

e-mail: henrkahn@usp.br

Avenida Prof. Mello Moraes 2.373, Cidade Universitária 05508-900

Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP

RESUMO

A adequação de rochas granitóides intemperizadas, de textura porfírica, como matéria prima feldspática para a fabricação de vidro, frequentemente pode ser equacionada no beneficiamento mineral através de operações unitárias de cominuição, classificação granulométrica e separação magnética. O processamento se apoia em características granulométricas e físicas do material, considerando que existe seleção granulométrica natural das espécies minerais componentes. Os feldspatos mostram dimensões maiores, os minerais portadores de elementos deletérios tendem a ocorrer naturalmente em granulometria fina. Este comportamento é diagnosticado pela caracterização tecnológica, que habilita diretamente à definição de rota de processo, como o estudo de caso típico apresentado. A caracterização mostrou a conveniência de separar o material, em função de composição química, em três classes granulométricas, GROSSOS, INTERMEDIÁRIOS e FINOS, com descarte das lamas. Os dois primeiros foram cominuídos e deslamados para adequação da granulometria. Separações magnéticas de alta intensidade, lograram reduzir os teores de ferro, por retenção nos magnéticos de minerais portadores deste elemento. Investigações mineralógicas, mostraram que o ferro remanescente está contido em minerais micáceos e óxidos de ferro, na forma de partículas livres não removidas na separação, ou partículas mistas com feldspatos, ou agregados argilo-limoníticos de alteração dos feldspatos.

Palavras-Chave: caracterização tecnológica, areia-feldspática, matéria-prima.

INTRODUÇÃO

Através de um estudo de caso, é ilustrado neste artigo como rochas granitóides de textura porfírica, parcialmente alteradas por processos intempéricos, podem ser adequadas a especificações das indústrias do vidro utilizando-se procedimentos simples de beneficiamento.

Nas rochas granitóides a textura porfírica é representada por cristais de feldspato bem desenvolvidos, de dimensões milimétricas a centimétricas (pórfiros), imersos em matriz quartzo-feldspática com grãos de dimensões bastante inferiores, na qual ocorrem minerais acessórios imersos.

Processos de intemperismo provocados por

agentes supérgenos tendem a promover alteração dos minerais, iniciando-se pelos feldspatos e alguns dos minerais acessórios. Em nível do solo de rocha alterada, este processo é incipiente e tem como consequência tornar o material friável, de fácil desagregação.

Tal tipo de rocha alterada pode se tornar fonte de matéria prima para a indústria do vidro, sempre que o feldspato predominante nos pórfiros seja de natureza potássica.

A textura ou a granulometria original da rocha associada ao incipiente intemperismo, geram uma condição de preservação de cristais maiores de feldspato facilmente desagregáveis de uma matriz quartzo-feldspática com acessórios portadores de ferro de granulometria expressivamente inferior.

Tal situação além de facilitar a lavra do minério, possibilita que através de procedimentos simples, de classificação granulométrica associados a cominuição branda, sejam gerados produtos tipo areia-feldspática, potencialmente aplicáveis como matéria prima para a indústria cerâmica e alguns segmentos de vidro. A qualidade destes produtos quanto a teores de ferro pode ser substancialmente melhorada por separação magnética de alta intensidade.

A obtenção de um produto feldspato a partir deste tipo de minério, pressupõem processos de beneficiamento mais seletivos e complexos, de separação entre quartzo e feldspato.

Os produtos passíveis de serem obtidos a partir de um determinado minério são dependentes das suas propriedades (grau de alteração, tipo de feldspatos originais, minerais acessórios, ...), e a avaliação deles é conseguida através da caracterização tecnológica voltada para o beneficiamento.

No estudo de caso apresentado, foram estudadas duas amostras de granitos com características similares.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os estudos de caracterização tecnológica envolvem procedimentos desenvolvidos em escala de laboratório, segundo uma sequência adequada, definida em função do bem mineral e do tipo de beneficiamento vislumbrado para o mesmo. A organização do esquema de preparação de amostras, de ensaios de separação mineral e de análises se apoia nas características da matéria prima mineral.

O minério foi submetido a um roteiro experimental indicado na figura 1 e que incluiu:

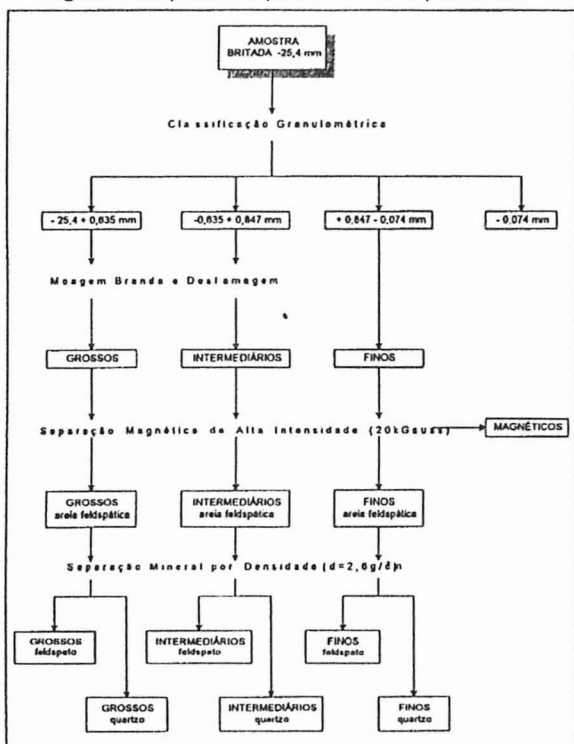
- britagem;
- classificações granulométricas;
- moagem branda abaixo de 0,841 mm;
- deslamagem com descarte do passante em 0,074 mm;
- separações minerais;
- identificações minerais.

O minério, britado abaixo de 25,4 mm, foi classificado por peneiramento em várias classes de granulometria, as quais foram submetidas a determinação da composição química e observações em microscopia óptica.

Os resultados obtidos nestas análises indicaram características químicas e mineralógicas distintas ao longo da granulometria. Com base nestas diferenças o material foi deslamado e separado em três classes de granulação, as quais foram estudadas separadamente:

- GROSSOS - maior que 0,635 mm;
- INTERMEDIÁRIOS - entre 0,635 e 0,847 mm;
- FINOS - entre 0,847 e 0,074 mm.

Figura 1: Esquema de procedimento experimental



Tanto os GROSSOS como os INTERMEDIÁRIOS foram submetidos a moagem branda e posterior deslamagem, visando sua adequação às especificações granulométricas.

No processo de deslamagem, tanto do produto britado como dos de moagem, é eliminada grande parte dos minerais portadores de ferro que naturalmente ocorrem em granulações mais finas, e os argilo-minerais de alteração dos

feldspatos liberados no processo de cominuição.

Com os três produtos na faixa de granulometria de especificação para aplicação na fabricação de vidro (entre 0,841 e 0,074 mm), foram realizadas separações minerais, respectivamente magnética de alta intensidade e por densidade.

As separações magnéticas logram gerar um produto magnético contendo óxidos de ferro (magnetita, goetita, hematita, ilmenita) liberados e uma parcela de partículas mistas com estes óxidos. São ainda retirados junto aos magnéticos minerais micáceos que contenham algum ferro, tanto originais como produtos de alteração de feldspatos, e outros silicatos menores constituintes portadores de ferro, tipo turmalinas e zircão.

Na areia feldspática então obtida, produto deslamado e não magnético, foi separado o quartzo dos feldspatos, aplicando como recurso separações por líquidos densos ($d = 2,7 \text{ g/cm}^3$).

Os ensaios de separações minerais foram acompanhados por análises químicas e análises mineralógicas.

As análises químicas foram realizadas por fluorescência de raios-X, utilizando-se pastilhas fundidas. As análises mineralógicas envolveram a conjugação das técnicas de microscopia óptica, difratometria de raios-X e microscopia eletrônica de varredura acoplada à microanálise química por EDS.

RESULTADOS OBTIDOS

Os dois materiais estudados apresentavam as composições químicas expostas na tabela I, sendo uma mais enriquecida em alumínio e sódio.

A assembléia mineralógica das duas amostras era composta de: quartzo, feldspatos (microclínio e albita), minerais micáceos (biotita, muscovita, flogopita, caolinita) e minerais acessórios (goetita, magnetita, rutilo, anatásio e zircão).

Tabela I: Composição química das amostras estudadas

AMOSTRA	TEORES (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GRANITO 1	69,9	13,3	6,82	0,60	0,17	4,73
GRANITO 2	70,9	15,8	5,92	1,57	0,16	4,63

Nos produtos britados observou-se que os minerais micáceos e os acessórios apresentavam nítida tendência de concentração nas frações finas, enquanto o quartzo se concentrava nos grossos.

Estas tendências de distribuição mineralógica segundo a granulometria se refletiram na composição química das frações tendo habilitado a separação das três classes, como exposto na tabela II.

Após a adequação granulométrica das classes de GROSSOS e INTERMEDIÁRIOS, processamento no qual mantiveram-se as tendências de distribuições de minerais segundo a granulometria, foram gerados os produtos indicados na tabela III.

Tabela II: Distribuição de teores na granulometria

GRANITO 1	PESO (%)	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
+ 0,635 mm	11	70,4	15,9	11,0	1,46	0,12	0,71
- 0,635 + 0,847 mm	42	77,0	11,4	7,3	0,58	0,06	3,23
- 0,847 + 0,074 mm	28	68,0	15,3	4,48	0,51	0,38	8,51
- 0,074 mm	19	48,4	27,4	3,08	0,31	0,11	5,61
GRANITO 2	PESO (%)	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
+ 0,635 mm	17	68,7	16,9	10,1	2,60	0,21	0,96
- 0,635 + 0,847 mm	47	74,1	12,7	5,75	1,54	0,19	3,91
- 0,847 + 0,074 mm	24	68,8	14,2	4,18	1,28	0,32	8,32
- 0,074 mm	12	52,9	27,7	2,87	0,74	0,23	5,39

Tabela III: Composição química dos GROSSOS, INTERMEDIÁRIOS e FINOS

GRANITO 1	% peso sobre a amostra	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GROSSOS	9	69,9	16,3	11,00	1,57	0,10	0,37
INTERMEDIÁRIOS	39	77,0	11,3	6,69	0,81	0,08	2,21
FINOS	28	68,1	15,3	4,48	0,51	0,38	8,51
lamas de descarte	25	52,3	25,1	4,19	0,47	0,17	5,00
GRANITO 2	% peso sobre a amostra	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GROSSOS	16	68,7	17,0	10,1	2,34	0,14	0,80
INTERMEDIÁRIOS	41	75,6	11,7	5,97	1,24	0,16	2,84
FINOS	24	68,8	14,2	4,18	1,28	0,32	8,32
lamas de descarte	19	57,5	24,1	4,48	1,33	0,22	4,64

Ressalta-se que apesar das diferenças de teores originais das duas amostras, os produtos gerados apresentam composição similar quanto aos elementos maiores constituintes e mesmo quanto ao ferro.

Através de separação magnética foi removida a parcela de minerais de ferro liberados contida nas três classes granulométricas, gerando um rejeito magnético que carrou respectivamente 20 e 19% em peso dos granitos 1 e 2.

Os produtos não magnéticos assim obtidos se constituem em areias feldspáticas com as composições químicas expostas na tabela IV. Tratam-se de matérias primas silicosas, com baixos teores de álcalis, de utilização não tradicional a ser equacionada sua aplicação junto aos setores industriais consumidores de feldspato.

Estas areias feldspáticas representam 50% em peso das amostras originais e mostram, no total das três classes, especificações quanto aos teores de ferro adequadas para muitos dos segmentos da indústria cerâmica, porém não adequadas para aplicação em vidro. Matéria prima mais nobre pode ser obtida pela utilização apenas dos produtos gerados pelas classes de GROSSOS e INTERMEDIÁRIOS, com menor recuperação em massa.

Para que tal tipo de material possa ser aplicado como matéria prima feldspato tradicional, faz-se necessário o desenvolvimento de processo de beneficiamento mais seletivo, que consiga retirar o quartzo associado reduzindo os teores de sílica (flotação).

Tabela IV: Composição química da areia feldspática nos GROSSOS, INTERMEDIÁRIOS e FINOS

GRANITO 1	% peso sobre a amostra	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GROSSOS	9	70,3	16,2	11,0	1,57	0,12	0,19
INTERMEDIÁRIOS	33	81,1	10,3	6,81	0,87	0,04	0,22
FINOS	14	83,1	9,08	4,57	0,85	0,32	1,36
TOTAL	56	79,9	10,9	6,90	0,97	0,12	0,50
GRANITO 2	% peso sobre a amostra	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GROSSOS	15	69,4	16,8	10,3	2,37	0,14	0,27
INTERMEDIÁRIOS	34	80,7	10,7	6,11	1,33	0,17	0,32
FINOS	13	79,1	11,5	4,51	1,72	0,47	1,12
TOTAL	62	77,7	12,3	6,77	1,66	0,22	0,47

A partir das separações minerais verificou-se que o produto feldspato possível de ser obtido a partir do material em estudo mostra-se adequado quanto aos teores de sílica, alumínio e álcalis, porém permanece com ferro elevado, conforme exposto na tabela V. A recuperação em massa reduz-se para a ordem de 30% das amostras originais, devido à parcela de quartzo retirada a qual representa respectivamente 23 e 26% em peso dos granitos 1 e 2.

Também neste caso a utilização dos GROSSOS + INTERMEDIÁRIOS, com eliminação da classe de FINOS, conduziria a produtos com teores de ferro significativamente inferiores.

Tabela V - Qualidade do produto feldspato

GRANITO 1	% peso sobre a amostra	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GROSSOS	8	66,6	18,3	12,5	1,66	0,08	0,20
INTERMEDIÁRIOS	18	67,6	17,8	12,3	1,41	0,03	0,24
FINOS	6	71,8	15,6	7,58	1,47	0,62	1,49
TOTAL	33	72,9	14,8	9,76	1,22	0,10	0,46
GRANITO 2	% peso sobre a amostra	TEORES (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
GROSSOS	12	65,6	18,8	12,0	2,49	0,09	0,26
INTERMEDIÁRIOS	17	69,0	17,0	11,3	1,70	0,10	0,29
FINOS	6	67,9	17,5	8,26	2,24	0,49	1,58
TOTAL	36	67,7	17,7	11,0	2,07	0,17	0,51

O ferro associado ao feldspato está na forma de:

- óxidos de ferro e micáceos com dimensões de 10 a 20 micrômetros (fotomicrografia I), em grãos mistos com feldspatos;
- óxidos de ferro e micáceos com dimensões de micrômetros em grãos de feldspatos (fotomicrografia II), frequentemente associados a zonas de alteração incipiente;
- agregados argilo-limoníticos, microcristalinos e porosos, provenientes da alteração de feldspatos (fotomicrografia III).

CONCLUSÕES

O aproveitamento de rochas feldspáticas porfíricas, semi-alteradas por intemperismo, pode se constituir em interessante alternativa como fonte de matéria prima feldspática para alguns segmentos industriais.

Através de procedimentos de beneficiamento simples pode-se obter uma areia feldspática com características de composição basicamente dependentes da qualidade da rocha constituinte do depósito mineral.

A utilização deste produto necessariamente precisa ser equacionada junto ao mercado consumidor, por não se tratar de matéria prima tradicional.

A obtenção de sucedâneos para o feldspato pressupõe ou características originais favoráveis da rocha (menor quantidade de sílica), ou processos mais seletivos e complexos de beneficiamento.

A caracterização tecnológica conduzida em amostras representativas, e devidamente direcionada, se constitui no recurso para definição da aplicabilidade ou não do material.

Esta fonte alternativa de matéria prima feldspática merece maior atenção, sobretudo quando se localizar próxima à indústria de consumo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa GEOIMAGEM SC LTDA. pela liberação dos dados do estudo de caso.

REFERÊNCIAS

Sant'Agostino, L. M. e Kahn, H. - Caracterização de Matérias Primas Minerais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas. BT/PMI/prelo, 30 ps. 1997.

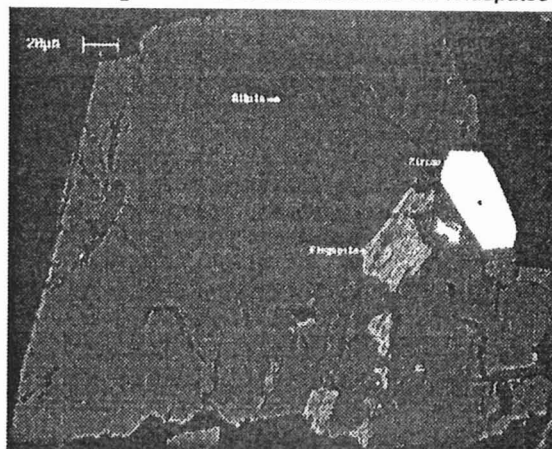
GRANITES CHARACTERIZATION FOR GLASS INDUSTRY RAW MATERIAL

ABSTRACT

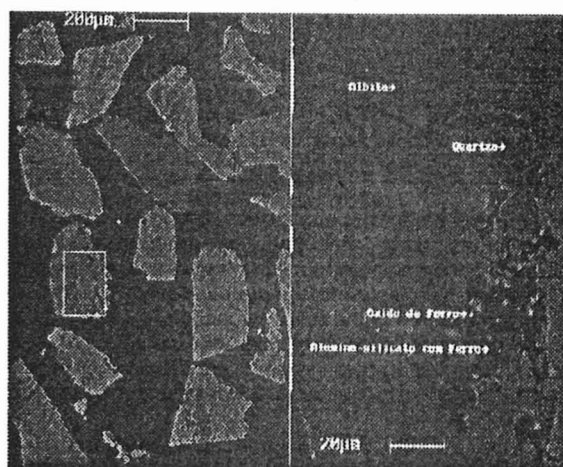
Intemperized porfirtic granitic rocks can be applied as feldspar raw material for glass industry, adequated with beneficiation process performed by cominution, size classification and magnetic separation. The ore dressing is based on differential natural size distribution and others physical characteristics of the material. Feldspars show higher dimensions and the deleterious minerals normally occur as fine grained. A technological characterization can detect this behaviour and also define the process scheme, as showed in this case study. The study indicated that after desliming the material could be classified in three fractions with very chemical composition, respectively COARSE, INTERMEDIATE and FINE. The two first needed milling and desliming to reach ideal size distribution. High intensity magnetic separation was applied, in each product, to minimized the content of iron bearing minerals. The remaining iron is associated to micaceous minerals and iron oxides, not removed in the separation, partly due to liberation and partly associated with limonitic-clay aggregates.

Key-words: Technological characterization, feldspar-sand, raw-material.

Fotomicrografia I – Inclusões minerais em feldspatos



Fotomicrografia II – Alteração incipiente de feldspatos



Fotomicrografia III – Agregados argilo-limoníticos

