

# **Estudo do Fracionamento de Estéreis e Rejeito da Lavra de Scheelita da Província da Borborema (RN) por Separação Magnética e Líquidos Densos**

**Eraldo Florêncio da Silva Junior**

Bolsista de Iniciação Científica, Graduando Eng. de Minas, UFPE

**João Alves Sampaio**

Orientador, Engenheiro de Minas, D. Sc., CETEM

**Pedro Luiz Guzzo**

Co-orientador, Eng. Mecânico, D. Sc., UFPE

## **Resumo**

Visando aumentar o teor dos concentrados de epidoto e andradita obtidos a partir de um bloco de estéril, foram realizadas modificações na rota de concentração estabelecida anteriormente, pela adição de uma etapa de separação em meio denso antes ou após a concentração magnética. Análises de difração e fluorescência de raios-X mostraram que as modificações introduzidas não contribuíram para aumentar os teores de epidoto e andradita, observando-se apenas um aumento no teor de  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$  nos concentrados. O procedimento inicialmente desenvolvido para o estéril foi aplicado a ao rejeito visando à recuperação da andradita, permitindo sua concentração para a corrente de 0,6 A. Em termos quantitativos, a concentração da andradita é mais eficiente quando realizada a partir dos estéreis da lavra de scheelita.

## **1. Introdução**

O interesse inicial deste projeto foi investigar a sensibilidade da resposta termoluminescente do epidoto, dada a inexistência desse tipo de análise para este mineral (Sullasi et al., 2007). Com isso, fez-se necessário preparar alíquotas de alta pureza desse mineral. Como o epidoto apresenta densidade e susceptibilidade magnética comum a vários outros minerais (Dana-Hurlbut, 1959), a preparação dessas alíquotas era até então limitada à catação manual de espécimes monocristalinas (Curvo, 2002). Neste contexto, a partir de estéreis da lavra de scheelita da Mina Brejuí (Currais Novos, RN), foi proposto um procedimento em escala de laboratório para a separação desse mineral, usando métodos físicos de concentração (Silva Jr. et al., 2007). A partir do procedimento proposto, obteve-se um concentrado de epidoto com teor de 75 % para a faixa granulométrica entre 150 e 300  $\mu m$ . A caracterização mineralógica mostrou que a principal contaminação do concentrado de epidoto provém da calcita (Silva Jr et al. 2007). Verificou-se também que a mineralogia do estéril estudado é semelhante àquela encontrada nas pilhas de rejeito da lavra de sheelita. Por exemplo, o trabalho de Carvalho et al. (2002) mostraram que as pilhas de rejeito da lavra da Mina Brejuí é constituída essencialmente calcita (40%), quartzo (23%), grossulária (15%), vesuvianita (3%), tremolita (2%), diopsídio (2%) e epidoto (1%). A principal discrepância em relação à nossa amostra deve-se à presença da grossulária ( $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ ) e não da andradita. Assim, nesta etapa do projeto, procurou-se inicialmente aumentar o teor de epidoto no concentrado obtido a partir do fracionamento do estéril. O segundo objetivo foi aplicar o procedimento de concentração utilizado no

estéril para uma amostra do rejeito do beneficiamento da scheelita. As técnicas de difratometria e espectrometria por fluorescência de raios-X foram empregadas para caracterizar a mineralogia das frações obtidas.

## 2. Materiais e Métodos

O procedimento original estabelecido para concentração do epídoto e da andradita a partir de um bloco de estéril, passou pelas modificações descritas na figura 1. Foram utilizadas duas rotas distintas de concentração, sendo processado cerca de 121,0g de material pós-mesa com granulometria compreendida entre 150 e 300  $\mu\text{m}$ . A primeira rota consiste do uso do meio denso antes da separação magnética. Na segunda rota, o meio denso foi aplicado aos produtos finais da concentração do epídoto. Para a comparação entre os métodos, foram tomadas alíquotas de aproximadamente 5,0g dos concentrados de epídoto e andradita os quais foram reduzidas abaixo de 75 $\mu\text{m}$  e analisadas por difratometria e fluorescência de raios X. Os difratogramas de raios X e as análises por fluorescência foram realizadas no Setor de Caracterização Tecnológica do CETEM segundo as mesmas condições do trabalho anterior (Silva Jr. et al. 2007).

Utilizando-se o procedimento apresentado na Figura 1, foi realizada a concentração de andradita a partir de uma amostra do rejeito do beneficiamento da scheelita coletada na Mineração Tomaz Salustino S.A. localizada no município de Currais Novos. A coleta do material foi realizada definindo-se uma malha regular na superfície do material estocado na área de rejeito. Em seguida, com a ajuda de um trado de altura de 1 m, foi coletada uma pequena quantidade de material de cada ponto da malha (nó). O material coletado foi homogeneizado, tendo sido retirada uma amostra de cerca de 60 Kg para os ensaios (Silva, 2008). Desse total, utilizou-se 31 kg onde foi feita uma pré-classificação em peneira de 850 $\mu\text{m}$ . A fração retida (7,14kg,) foi reduzida em moinho de discos de forma a se tornar passante nessa malha. O material foi homogeneizado e, após sucessivos quarteamentos com quarteador Jones, foi obtida uma alíquota de 0,46kg para a realização da análise granulométrica. Esta análise foi realizada via seco usando peneiras da série Tyler. O restante do material (23,83kg) foi separado nas seguintes faixas : 600 x 850 $\mu\text{m}$ , 300 x 600 $\mu\text{m}$ , 150 x 300 $\mu\text{m}$  e -150 $\mu\text{m}$ . Para cada faixa, foi feita uma pré-concentração em mesa vibratória modelo Wilfley n° 13, operando com ângulo de inclinação de aproximadamente 15° e os produtos obtidos foram classificados como fração Leve, Mista e Pesada.

A fração Pesada contida entre 150 x 300  $\mu\text{m}$  foi utilizada para os ensaios de separação magnética visando a recuperação de andradita. De acordo com o trabalho anterior, verificou-se que esta faixa é a mais adequada para recuperação deste mineral. Os ensaios de separação magnética foram realizados com o separador isodinâmico Frantz, modelo L1, operando com ângulos de inclinação de 15° e nível de vibração entre 3 e 4. Baseando-se ainda nos ensaios anteriores, foram utilizadas duas intensidades de corrente elétrica (I), 0,5A e 0,6A, observando-se o comportamento das respectivas frações magnéticas e não magnéticas, optando-se por duas passagens para um mesmo valor de corrente a fim de obterem-se melhores concentrados. A massa média das alíquotas utilizadas nestes ensaios foi de 2,60g, obtidas usando quarteador Jones.

### 3. Resultados e Discussão

O procedimento original utilizado para concentração foi modificado de forma a se obter melhores concentrações de epidoto e andradita, pela adição de uma etapa de separação em meio denso (bromofórmio). A posição desta nova etapa foi variada com o objetivo de verificar o teor dos concentrados para cada procedimento.

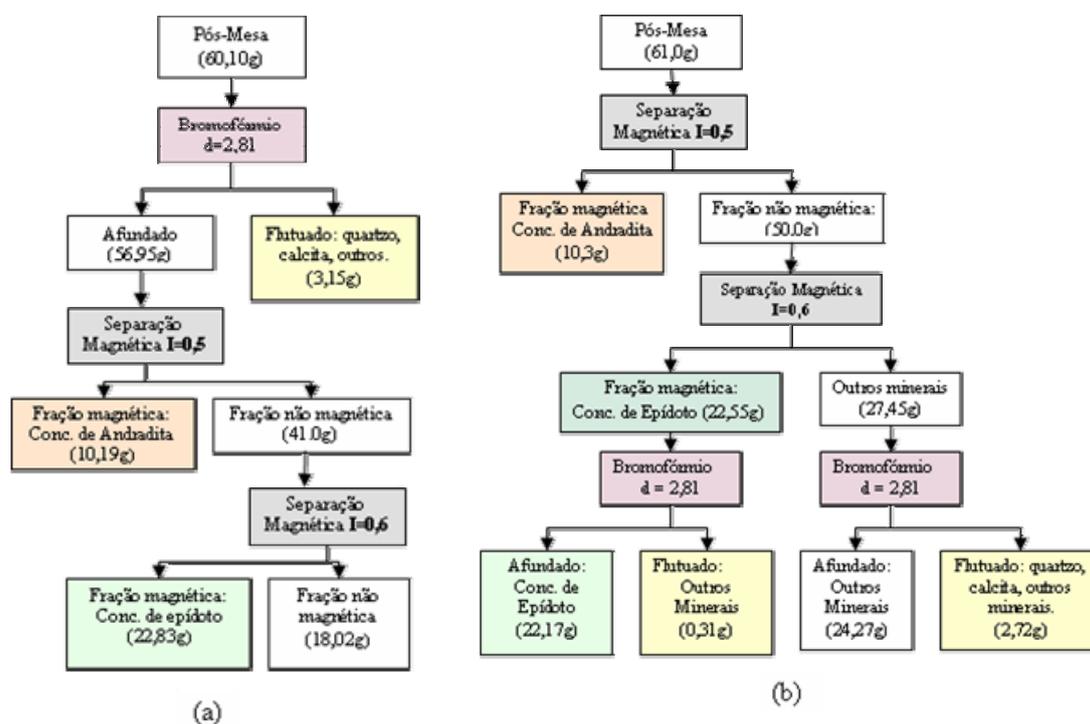


Figura 1. Fluxogramas atualizados para o procedimento de concentração de estéreis da lavra de scheelita. (a) Meio denso antes da separação Magnética (LD+SM). (b) Meio denso posterior à separação magnética (SM+LD). A distribuição de massa ao longo do processo esta representada entre parênteses nos fluxogramas acima.

No procedimento LD+SM, a fração afundada passa por processo de separação magnética inicialmente para valores de  $I = 0,5A$ , obtendo-se o concentrado de andradita na fração magnética. A fração não-magnética é retornada ao equipamento de forma a aumentar a recuperação de andradita. Em seguida, ajusta-se o valor da corrente elétrica para  $I = 0,6A$  obtendo-se o concentrado de epidoto na fração magnética. A fração não magnética é re-inserida no equipamento. A o final, são obtidos os concentrados de epidoto e andradita. Para o procedimento SM+LD, a separação magnética é feita de forma semelhante, sendo aplicado o meio denso aos produtos finais da concentração magnética para  $I=0,6A$ .

A tabela 1 mostra os resultados obtidos em cada processo, havendo grande similaridade entre as massas encontradas, diferindo apenas em décimos de grama. Porém, do ponto de vista prático, constatamos que o procedimento LD+SM é o mais adequado.

A Figura 2 apresenta os difratogramas de raios X para os concentrados obtidos pelos métodos LD+SM e SM+LD. A análise comparativa com os padrões minerais mostrou que os concentrados de epidoto obtidos para ambos os métodos são constituídas além do epidoto, por andradita, calcita e quartzo. Da mesma forma, nos concentrados de andradita foram identificados o quartzo e o epidoto.

Tabela 1. Comparação entre os métodos de concentração.

Método de concentração	Alimentação (g)	Quartzo, calcita, outros minerais (g)	Concentrados finais (g)		Outros minerais (g)
		(d < 2,81)	Epídoto	Andradita	(d > 2,81)
LD+SM	60,10	3,15	22,83	10,19	18,02
SM+LD	61,10	3,03	22,17	10,30	24,27

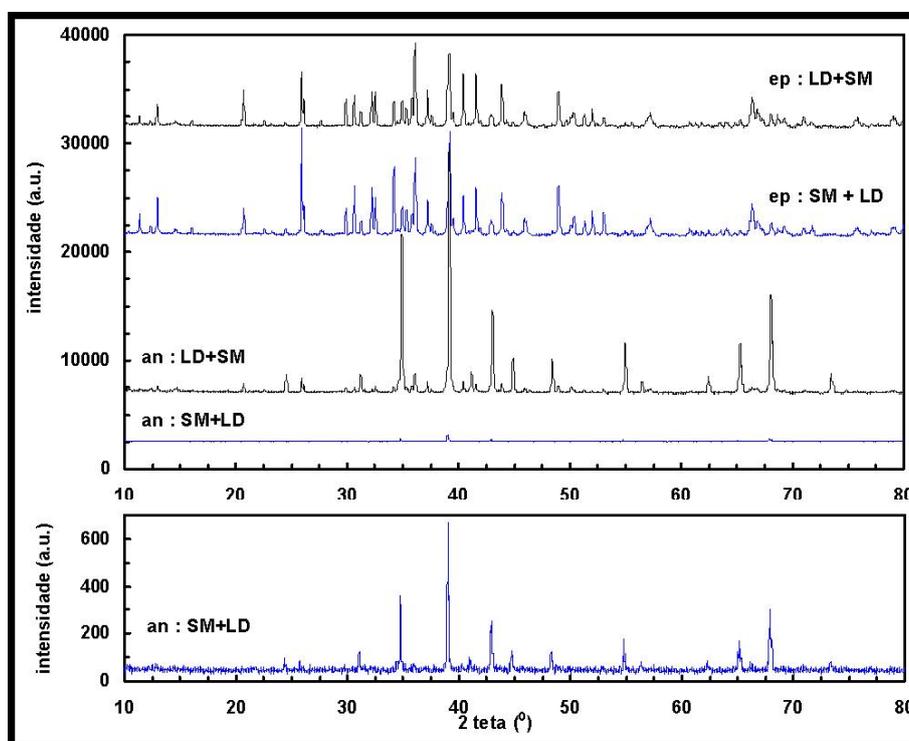


Figura 2. Difratograma de raios X dos concentrados de epidoto e andradita obtidos pelo método LD+SM (ep: LD+SM, an: LD+SM) e SM+LD (ep: SM+LD, an: SM+LD).

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise dos elementos maiores por fluorescência de raios X. Observa-se que todas as amostras possuem os óxidos presentes no epidoto, quais sejam :  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $CaO$ . Esses óxidos também compõem pelo menos uma das outras fases minerais detectadas por difratometria de raios X, impedindo qualquer comparação isolada.

Tabela 2. Principais óxidos detectados na análise semiquantitativa por fluorescência de raios-X.

óxido	concentração (%)				
	ep:LD+SM	ep:SM+LD	e-c	an:LD+SM	e-r
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,4	14,3	8,7	7,2	6,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,4	16,4	16,7	22,2	22,8
SiO <sub>2</sub>	29,9	31,6	27,1	30,2	27,3
CaO	22,1	22,6	22,0	27,3	27,0
MgO	1,8	1,9	1,8	1,2	1,0
MnO	0,5	0,4	0,5	1,7	1,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
SrO	0,1	0,1	0,1	0,1	Nd
TiO <sub>2</sub>	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5

e-c : concentrado de epidoto sem utilizar meio denso (Silva Jr. et al., 2007)

e-r : concentrado de andradita sem utilizar meio denso (Silva Jr. et al., 2007)

Os teores dos óxidos constituintes apresentados na Tabela 2 confirmam a presença das fases identificadas nos difratogramas de raios X. Comparando-se os teores dos óxidos entre os métodos LD+SM e SM+LD, nota-se que não há diferença na posição da etapa de meio denso dentro do procedimento de concentração proposto. Observa-se também que ocorreu um aumento nos teores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para os concentrados de epidoto e andradita quando comparados aos teores dos concentrados determinados anteriormente (Silva Jr et al, 2008).

A figura 4 apresenta o resultado da análise granulométrica para o rejeito. Observa-se que aproximadamente 80% do material esta compreendido no intervalo de 30 a 600µm.

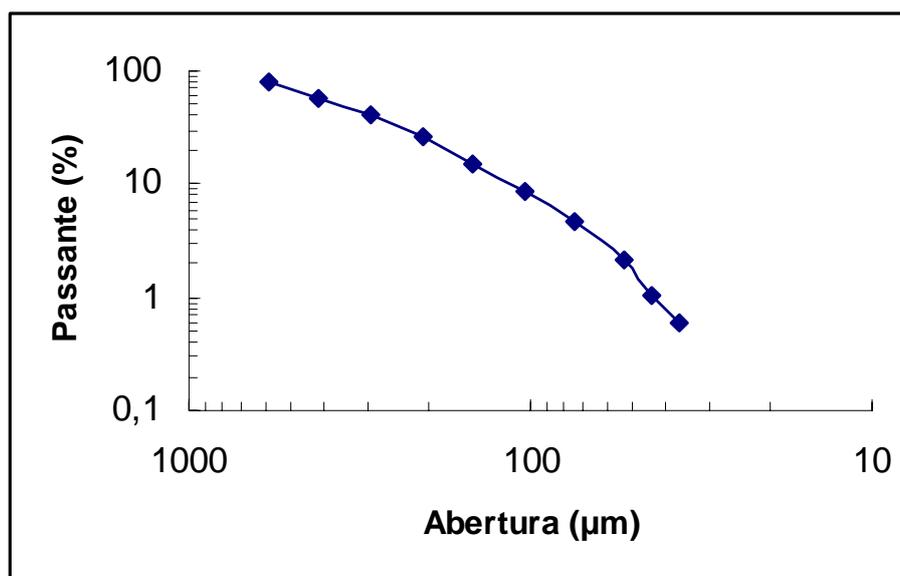


Figura 3. Análise granulométrica da Alimentação.

A tabela 3 apresenta a distribuição da massa da amostra de rejeito por intervalos de faixas de tamanhos. Confrontando-se os dados desta tabela com o gráfico de análise granulométrica, vemos uma grande similaridade de valores mostrando que os resultados são consistentes. Por exemplo, pela Figura 3, as frações passantes nas malhas de 300 e 600  $\mu\text{m}$  são, respectivamente, 40 e 80 %. Portanto, a análise granulométrica efetuada é representativa da amostra utilizada no processo de concentração.

Tabela 3. Distribuição granulométrica por intervalos de faixa.

faixa ( $\mu\text{m}$ )	Peso (kg)	Percentagens (%)		
		Retido	Acumulado	Passante
+ 589	5,18	22,3	22,3	77,7
295 x 589	8,22	35,4	57,6	42,4
147 x 295	6,09	26,2	83,8	16,2
-147	3,76	16,3	100,0	-

A tabela 4 apresenta os resultados da pré-concentração realizada em mesa vibratória para as faixas apresentadas na tabela 3. Observa-se que para as faixas de tamanho maiores que 147  $\mu\text{m}$ , as massas classificadas como fração Pesada, constituída essencialmente por minerais mais densos, são próximas. Na faixa mais fina, a quantidade da fração Pesada é menor. Por outro lado, observa-se que a fração Leve está concentrada nas faixas de menor tamanho, entre 147 e 295 $\mu\text{m}$ , sendo menor para a faixa + 589  $\mu\text{m}$ . A fração Mista, constituída por minerais de densidade intermediária, é formada por uma proporção variada dessas duas frações, concentrando-se nas faixas mais grosseiras e diminuindo para as faixas mais finas.

Tabela 4. Resultado da pré-concentração do rejeito em mesa vibratória.

Faixa ( $\mu\text{m}$ )	Alimentação (kg)	Fração		
		Pesada (kg)	Mista (kg)	Leve (kg)
+ 589	5,18	1,37	3,16	0,53
295x589	8,22	1,53	3,53	2,25
147x295	6,09	1,24	2,13	2,47
-147	3,76	0,47	1,31	1,69

Os resultados dos ensaios de separação magnética realizados no rejeito pré-concentrado na faixa entre 147 e 295  $\mu\text{m}$  são apresentados na Tabela 5. Nesta tabela, observa-se que a fração magnética coletada com a corrente de 0,5A é pequena, sendo constituída por um mineral escuro até o momento não identificado. Para  $I=0,6\text{A}$ , ocorre a concentração da andradita na fração magnética. Em relação à massa inicial, observa-se que a porcentagem de andradita concentrada é inferior à 5 %. Além disso, nota-se uma pequena contaminação da andradita pelo mineral escuro não identificado. A fração não-magnética resultante é constituída por uma grande variedade de minerais, cuja identificação está por ser realizada. Pela proximidade dos valores encontrados para as duas alíquotas ensaiadas, consta-se que o procedimento empregado é reprodutível em escala de laboratório.

Tabela 5. Resultados da concentração do rejeito por da separação magnética.

Passagem	I (A)	Alíquota 1 m= 2,81 g		Alíquota 2 m =2,78 g	
		Mag.	Não-mag.	Mag.	Não-mag.
1	0,50	0,04	2,75	0,04	2,74
2	0,50	0,01	2,68	0,01	2,69
3	0,60	0,1	2,54	0,07	2,6
4	0,60	0,03	2,47	0,04	2,55

#### 4. Conclusão

A introdução do meio denso para a separação do epidoto e da andradita não contribuiu para o aumento dos teores dos respectivos concentrados. Portanto, o procedimento constituído por separação magnética ainda é o mais recomendado para a separação desses minerais a partir dos estéreis da lavra de scheelita. Diferentemente do comportamento do estéril, a concentração magnética da andradita contida no rejeito ocorreu para a corrente de 0,6 A. O procedimento adotado permite a concentração da andradita a partir do rejeito. Entretanto, quando comparado ao estéril, constatou-se que a quantidade de concentrado é muito pequena. Logo, visando aplicações futuras da andradita, recomenda-se a sua recuperação diretamente do estéril.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Reiner Neumann (CETEM) pelas medidas de difratometria e fluorescência de raios-X e ao Prof. José Carlos Silva de Oliveira (Dep. Eng. de Minas, UFPE) pelas suas sugestões para a definição das etapas de concentração. Um dos autores (EFSJr) agradece ao Programa PIBIC/CETEM/CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

#### 6. Referências

CARVALHO, E.B., LIMA, R.F.S., PETTA, R.A., PAULO, J.B.A., SOUZA, L.C. **Caracterização de rejeitos provenientes da usina de beneficiamento do minério da Mina Brejuí/RN.** In: XIX ENTMME, 2002, Recife, Anais...v. 1, p.75-81.

CURVO, E. A. C. 2002. **Estudo da datação por traços de fissão em epidoto** 50p.. Tese (Mestrado) – Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas.

SILVA JR, E.F., SAMPAIO, J.A., GUZZO, P, L., **Estudo de Rotas de Concentração para Recuperação de Epidoto em Rejeitos da Província Borborema para Aplicações em Dosimetria das Radiações Ionizantes.** In: XV JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2007, Rio de Janeiro, p.1-7.

SULLASI, H.L., SILVA JR, E.F., KHOURY, H.J., WATANABE, S., GUZZO, P.L., THOMAS FILHO, L., BARRETO, S.B. **Thermoluminescence properties of epidote from Borborema Province under  $\gamma$ -irradiation.** In: 2007 International Nuclear Atlantic Conference, Santos, Anais... ABEN, cd-room, p. 1-6

Silva, J.C.O. Comunicação Pessoal, 2008.