

# POTENCIAL DE APLICAÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS AMAZÔNICAS NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIOS

D. S. Costa<sup>1</sup>, L. C. de Castro<sup>2</sup>, A. E. Paiva<sup>3</sup>, P. L. Pagani<sup>3</sup>, A. E. C. Peres<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Pará, Campus de Marabá  
Folha 17 Quadra 4 Lote Especial, Marabá, PA, 68505-080. e-mail: denilsonsc@ufpa.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, 31270-901.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, 31270-901. e-mail: [aecperes@demet.ufmg.br](mailto:aecperes@demet.ufmg.br)

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aplicação de espécies vegetais amazônicas como coletores aniônicos na flotação de minérios. Foram avaliadas doze espécies vegetais (óleos e gorduras) da região amazônica. Os óleos foram extraídos da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*), da semente de maracujá (*Passiflora edulis*), da polpa de inajá (*Attalea maripa*), da castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*), da semente de andiroba (*Carapa guianensis*), da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*) e da semente de pracaxí (*Pentaclethra macroloba*); e as gorduras extraídas das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), bacuri (*Platonia insignis*), ucuúba (*Virola surinamensis*) e murumuru (*Astrocaryum murumuru*). A composição em ácidos graxos dessas espécies foi obtida por cromatografia gasosa e correlacionada com seu desempenho na flotabilidade. As espécies foram hidrolisadas com NaOH para torná-las solúveis em meio aquoso. Através da espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), verificou-se a extensão da reação de hidrólise básica (saponificação). Foram realizados testes de flotabilidade em tubo de Hallimond modificado, usando extensor de altura (para evitar arraste excessivo), com os minerais apatita e calcita. Também foram realizadas a caracterização e as medidas eletroforéticas dos minerais para auxiliar na compreensão do mecanismo de adsorção do coletor na superfície mineral. Os resultados demonstram que a utilização de sais de ácidos graxos (sabões) obtidos através da hidrólise alcalina de óleos ou gorduras vegetais amazônicos é uma alternativa aos reagentes coletores atualmente usados na indústria mineral.

PALAVRAS-CHAVE: Óleos vegetais; flotação; minério.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar da importância do setor mineral para a sociedade e para a economia de qualquer país, pela sua natureza, é a atividade menos aceita dentro do novo arcabouço conceitual de desenvolvimento sustentável, sendo necessária uma reavaliação dos insumos e processos utilizados pela indústria mineral.

A Amazônia possui quantidade considerável de espécies vegetais cujas propriedades as qualificam como fortes candidatas a serem utilizadas como reagentes na flotação de minérios. Essas espécies têm como características principais: alta disponibilidade na floresta amazônica e ainda não serem industrialmente aproveitadas em quantidade significativa. Além disso, na contramão da indústria mineral, que tem servido como ilustração negativa dentro dos padrões mundiais de preservação ambiental, estes insumos são provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis, o que evitaria problemas de agressão ambiental. A utilização desses insumos também agregaria valor às espécies amazônicas, contribuindo, assim, com o desenvolvimento socioeconômico da região.

Assim, este trabalho teve como objetivo principal avaliar o potencial de aplicação de espécies vegetais da Amazônia (óleos e gorduras) como reagentes coletores na flotação de minérios.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Espécies Vegetais

Foram avaliadas doze espécies vegetais (óleos e gorduras) da região amazônica. Os óleos foram extraídos da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*), da semente de maracujá (*Passiflora edulis*), da polpa de inajá (*Attalea maripa*), da castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*), da semente de andiroba (*Carapa guianensis*), da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*) e da semente de pracaxí (*Pentaclethra macroloba*); e as gorduras extraídas das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), bacuri (*Platonia insignis*), ucuúba (*Virola surinamensis*) e murumuru (*Astrocaryum murumuru*).

A composição em ácidos graxos das espécies amazônicas foi determinada através de cromatografia gasosa (CG). As análises cromatográficas foram feitas no laboratório de cromatografia do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais.

### 2.2. Hidrólise das Espécies Vegetais

As espécies vegetais foram hidrolisadas (saponificadas) à quente (aproximadamente 80°C) usando chapa aquecedora e refluxo. 5 g da espécie vegetal e 100 mL de solução alcoólica de NaOH 5% (m/v) foram colocadas em um balão e saponificadas durante 2 horas para garantir a reação completa. Através da espectrometria por infravermelho foi verificada a extensão da reação de hidrólise.

### 2.3. Caracterização das Amostras Minerais

Distribuição granulométrica: A distribuição granulométrica da apatita e da calcita foi realizada no granulômetro *Sympatec Helos Vectra*. Nessa análise foram utilizados o agente dispersante hexametáfosfato de sódio ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ), com concentração de 0,05 % v/v na solução e lente de 50 mm. Para obter uma melhor dispersão realizou-se uma homogeneização da amostra com ultrassom por cerca de 3 minutos.

Difração de raios-X: A análise mineralógica foi realizada em difratômetro de raios-X marca *Philips* (Panalytical), com tubo de cobre e monocromador de cristal de grafita curvo, sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, gerador PW 1830/40 e goniômetro PW 3020/00. Foi utilizado o método do pó e a varredura  $2\theta$  variou de 4,05 a 89,91° com espaçamento de 0,06°. A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD (*International Center for Diffraction Data*).

Fluorescência de raios-X: A caracterização química dos minerais (apatita e calcita) foi realizada no equipamento *S2 Ranger da Bruker*. O *S2 Ranger* é um espectrômetro de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF) compacto, que utiliza tubo de raios-X de 50W de potência e ânodo de paládio (Pd). As amostras foram analisadas utilizando o método de análise semiquantitativa *EQUA\_OXIDES*. O método utilizado é pré calibrado de fábrica (*standardless*) para varredura de Na a U.

#### **2.4. Microflotação em Tubo de *Hallimond***

Ensaios de microflotação em duplicata foram efetuados em tubo de *Hallimond* modificado, com emprego de extensor da altura para evitar arraste excessivo. Foram realizados testes preliminares para definir as condições dos ensaios, como vazão de gás, agitação, tempo de condicionamento e de flotação, massa e granulometria do mineral e concentração de coletor. O pH usado foi 9,5 (aproximadamente); a vazão de gás ( $N_2$ ) foi de 40 cm<sup>3</sup>/L; os tempos de condicionamento e flotação foram de 7 e 1 minuto, respectivamente; a massa do mineral foi de 1 g e a granulometria estava entre 300 e 106 µm; a concentração de coletor foi de 20 mg/L. A flotabilidade (em %) foi determinada a partir da relação entre a massa flotada e a massa total da amostra, descontando o arraste (se houvesse).

#### **2.5. Medidas de Potencial Zeta**

As medidas de potencial zeta foram feitas usando um medidor modelo ZM<sub>3</sub>-D-G, Zeta Meter system 3.0+, com imagem direta por vídeo da Zeta Meter, Inc, USA. As suspensões dos minerais, com e sem coletor, foram preparadas em provetas de 250 mL, sem eletrólito indiferente, deixadas em repouso por, aproximadamente 3 h à temperatura ambiente. A concentração de coletor foi de 20 mg/L.

O pH foi ajustado para o mesmo valor usado na microflotação (9,5) utilizando ácido clorídrico (HCl) e/ou hidróxido de sódio (NaOH), ambos na concentração de 1%. A voltagem usada nos testes foi sempre a maior voltagem possível que não gerasse turbilhonamento.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Composição das Espécies Vegetais**

A composição em ácidos graxos de cada espécie vegetal, determinada através de cromatografia gasosa, está mostrada na Tabela I.

Tabela I – Composição em ácidos graxos das espécies vegetais

Espécies Vegetais	Ácidos						
	Láurico	Mirístico	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolênico
Buriti			17,44	2,17	70,55	7,03	1,08
Maracujá		0,19	12,56	5,04	28,94	48,82	0,19
Inajá	4,46	8,26	21,27	3,19	49,90	9,40	1,44
Castanha			18,13	13,17	47,02	15,20	
Andiroba			31,28	10,27	51,47	5,40	
Açaí		0,26	21,75	2,07	61,55	7,58	0,22
Pracaxí	0,15	0,40	2,96	3,47	59,57	13,71	
Cupuaçu		0,34	9,26	35,68	42,95	1,74	
Tucumã	51,75	23,42	6,15	2,72	10,74	2,19	
Bacurí	0,74	0,55	60,74	2,31	25,15	1,76	
Ucuúba	14,18	72,27	5,03	1,47	4,08	1,21	
Murumuru	49,63	29,83	6,86	2,75	6,01	2,02	

De acordo com a Tabela I, todas as espécies estudadas, com exceção das gorduras de ucuúba e murumuru, apresentaram altos teores de ácido oleico, com destaque para os óleos de buriti, açaí, pracaxí e andiroba em que o teor deste ácido está acima de 50 % (70,55 %; 61,55 %; 59,57 %; 51,47 %, respectivamente). Outras espécies também apresentaram quantidades significativas de ácido oleico, como os óleos da polpa de inajá (49,90 %), da castanha do Pará (47,02 %) e a gordura da semente de cupuaçu (42,95 %).

A espécie vegetal amazônica que apresentou maior quantidade de ácido linoleico em sua composição foi o óleo extraído da semente de maracujá, com um teor de aproximadamente 49 %, seguido do óleo extraído da castanha do Pará, que apresentou um teor de 15,20 % deste ácido.

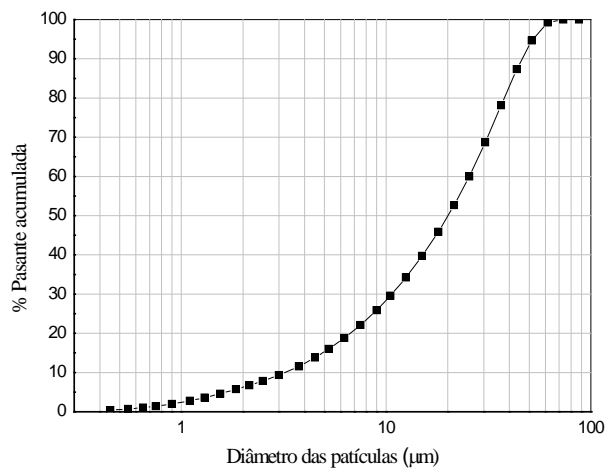
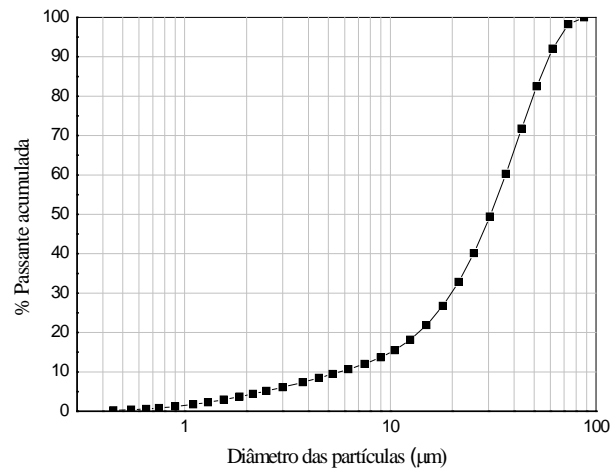
A composição em ácidos graxos das espécies amazônicas investigadas neste trabalho está muito próxima à encontrada por Guimarães *et al.* (2005) para alguns óleos que são usados atualmente na flotação de minérios fosfatados, como os óleos obtidos da casca de arroz e da soja e o *tail oil*.

### 3.2. Hidrólise das Espécies Vegetais

Das 12 espécies vegetais amazônicas avaliadas somente 9 delas saponificou adequadamente, conforme resultados da espectrometria no infravermelho feita com as espécies vegetais antes e após a reação de saponificação. Segundo Wang *et al.* (2009), a banda característica do grupo carbonila de triacilgliceróis (óleos e gorduras) que aparece na região de 1740  $\text{cm}^{-1}$  antes da reação, desaparece totalmente após a saponificação e surge uma banda na região de 1540  $\text{cm}^{-1}$ , típico do grupo carbonila de sais de ácidos graxos, evidenciando portanto, que a reação foi completa.

### 3.3. Caracterização das Amostras Minerais

As distribuições granulométricas dos minerais apatita e calcita, obtida por espalhamento de radiação *laser*, estão mostradas nos gráficos da Figura 1.



(a)

(b)

Figura 1 – Distribuição granulométrica da calcita (a) e apatita (b).

Verifica-se, pela Figura 1, que o  $d_{50}$  da calcita foi de 20  $\mu\text{m}$  e o  $d_{50}$  da apatita foi de 30  $\mu\text{m}$ .

Na Figura 2 é apresentado os resultados obtidos por difração de raios-X (DRX) para as amostras de apatita (a) e calcita (b).

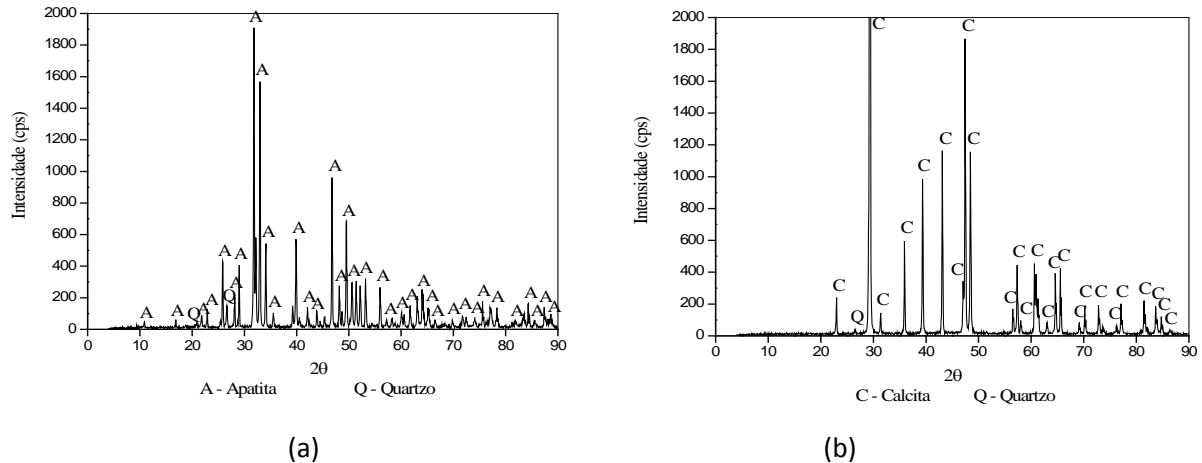


Figura 2 – Difratogramas das amostras de apatita (a) e calcita (b).

Pela Figura 2, conclui-se que as amostras minerais usadas neste trabalho, apatita e calcita, são praticamente puras, com pequena quantidade do mineral quartzo. Este resultado é confirmado pelos resultados obtidos através da fluorescência de raios-X, mostrados na Tabela II.

Tabela II – Resultados obtidos por fluorescência de raios-X

	CaO	C O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	Si O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	PbO	SrO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl	Th
<b>Apatita</b>	58,16	-	26,1	5,90	5,	3,09	0,03	0,02	0,04	0,10	0,02	0,55	0,19
<b>Calcita</b>	60,00	3	0,04	-	0,	0,44	0,04	0,03	0,02	0,12	-	0,09	-

<sup>1</sup> Valor estimado pelo software.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 2 e na Tabela II, os minerais usados neste estudo (apatita e calcita) estão com purezas aceitáveis para a realização dos ensaios de flotabilidade propostos.

### 3.4. Flotabilidade dos Minerais

Os resultados das microflotações em tubo de Hallimond estão mostrados na Figura 3.

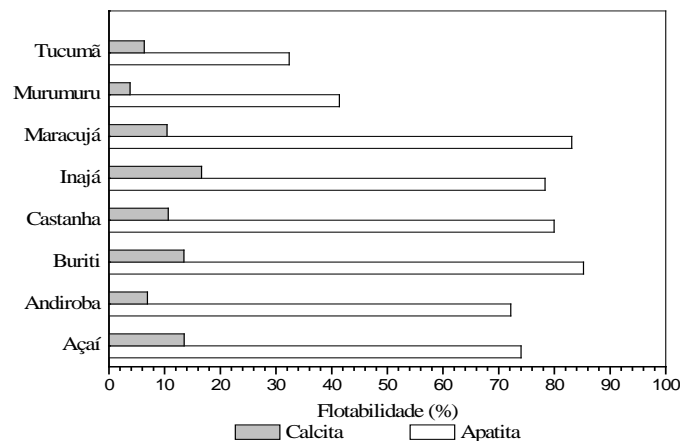


Figura 3 – Flotabilidade da calcita e apatita em tubo de Hallimond.

A Figura 3 mostra que os coletores obtidos a partir de óleos vegetais apresentaram melhor desempenho (maior flotabilidade) que os obtidos a partir de gorduras vegetais. Isso pode ser devido ao fato de os óleos apresentarem predominância de ácidos graxos insaturados em sua cadeia em relação às gorduras, principalmente o ácido oléico e o linoleico. O óleo de buriti, que possui maior teor de ácido oleico (em torno de 70%), teve desempenho similar ao óleo de maracujá, que possui alto teor de ácido linoleico (aproximadamente 49%), mas possui também quantidade significativa de ácido oleico (29%). O desempenho do óleo de inajá e de castanha do Pará foi ligeiramente maior que o desempenho dos óleos de andiroba e açai. Provavelmente isso é devido aos primeiros (principalmente o óleo de castanha do Pará) apresentarem quantidade maior de ácido linoleico, conforme Tabela I.

Ensaio de microflotação de apatita realizados por Brandão *et al.* (1994), para testar lipídios vegetais, mostraram que, em meio básico, o ácido linoleico foi o melhor coletor para apatita, seguido dos ácidos linolênico e oleico. Estes resultados foram confirmados por testes de flotação em escala de bancada com o minério ígneo carbonático brasileiro de Tapira-MG, onde o melhor óleo natural empregado como coletor foi o de soja, rico em ácido linoleico.

### 3.5. Medidas de Potencial Zeta

O gráfico da Figura 4 mostra os resultados das medidas de potencial zeta da apatita e calcita em água (sem coletor) e na presença de coletores. O pH e a concentração de coletor usada nas medidas foram as mesmas dos ensaios de microflotação.

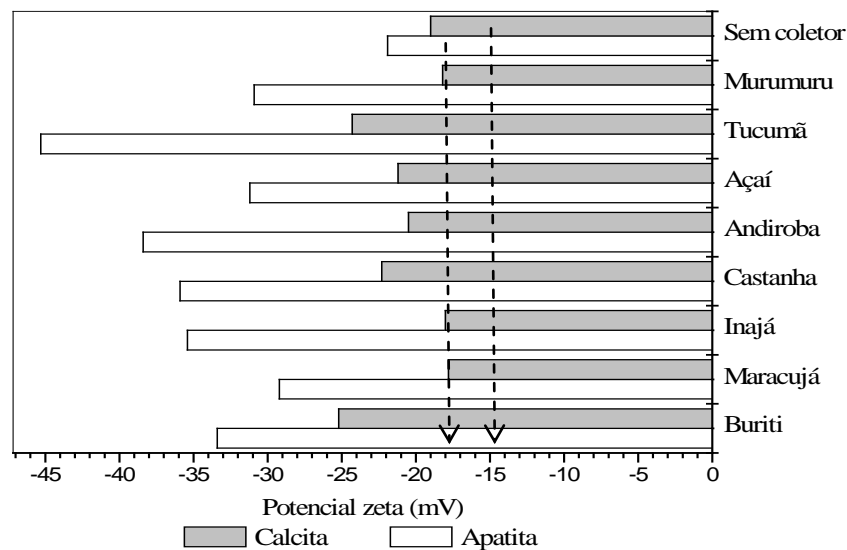


Figura 4 – Potencial zeta da calcita e apatita com e sem coletor.

Pode-se visualizar na Figura 4 que a superfície da apatita se tornou mais negativa após o contato com os coletores, evidenciando a adsorção. Para o mineral calcita, não houve mudança significativa no valor do potencial zeta na presença de coletores. Isso está de acordo com os resultados das microflotações, em que houve alta flotabilidade da apatita e baixa flotabilidade da calcita. Como a adsorção do coletor acontece com a carga de superfície da apatita negativa, semelhante à carga do reagente, sugere-se adsorção química. Não foi possível explicar o maior valor absoluto de potencial zeta da apatita na presença do coletor da gordura de tucumã, uma vez que esta espécie vegetal apresentou baixa flotabilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

As espécies vegetais que apresentaram melhor desempenho foram as que possuem maior quantidade de ácido oleico e linoleico em sua cadeia.

O mecanismo de adsorção dos coletores aniônicos oriundos das espécies vegetais da Amazônia é a adsorção química.

Os resultados mostram que é tecnicamente possível a aplicação de espécies amazônicas na flotação de minérios fosfáticos. A utilização de sais de ácidos graxos (sabões) obtido através da hidrólise alcalina de óleos ou gorduras vegetais amazônicas é uma alternativa aos reagentes atualmente usados na indústria mineral.

#### 5. REFERÊNCIAS

Brandão, P. R. G., Caires, L. G., Queiroz, D. S. B. Vegetable Lipid Oil-Based Collectors in the Flotation of Apatite Ores. *Minerals Engineering*, v. 7, p. 917-925, 1994.

Guimarães, G. C., Araujo, A. C., Peres, A. E. C. Reagents in igneous phosphate ores flotation. *Minerals Engineering*, v. 18, p. 199-204, 2005.

Wang, Q., Huand, Q., Yin, P. Study on Saponification Technology of Waste Edible Oil. 2009.