


Determinação da relação farinha/NaOH na gelatinização de depressores à luz da microscopia óptica e a sua influência nos testes de flotação mineral

Luis Alberto Silva ¹ 

André Carlos Silva ^{1*} 

Elenice Maria Schons Silva ¹

Luany Beatriz Amanajás de Oliveira ²

Resumo

Os amidos são reagentes depressores empregados na flotação mineral a fim de conferir seletividade ao processo. Para tal, necessitam ser previamente gelatinizados, sendo o método alcalino a técnica mais usada na indústria mineral. No Brasil, utiliza-se como álcali o NaOH e a relação farinha/NaOH é um dos parâmetros analisados nesse processo. Embora sejam importantes, os estudos sobre esta temática são escassos na literatura. Diante disso, o trabalho consistiu na determinação da relação farinha/NaOH ideal para a gelatinização de depressores à base de milho, sorgo e milheto e na comprovação da eficácia do processo à luz da microscopia óptica com luz polarizada. Posteriormente, ensaios de flotação com o minério de nióbio usando as farinhas de milho, milheto e sorgo e suas respectivas misturas como depressores foram realizados e os resultados foram comparados com o amido de milho industrial. Os resultados mostraram que os novos depressores propostos consumiram menores quantidades de NaOH para serem gelatinizados em relação ao amido de milho. A etapa de microscopia óptica comprovou o rompimento das cruces de Malta para todas as farinhas, indicando a completa gelatinização. O melhor depressor de pirocloro foi a farinha de sorgo e os resultados mostraram similaridade estatística em relação ao amido de milho.

Palavras-chave: Gelatinização; Farinhas; Sorgo; Milheto; Milho.

Determination of the flour/NaOH ratio in the gelatinization of depressants under optical microscopy and its influence on mineral flotation tests

Abstract

Starches are depressant reagents used in mineral flotation in order to confer selectivity to the process. For this, they need to be previously gelatinized, with the alkaline method being the most used technique in the mineral industry. In Brazil, NaOH is used as alkali and the flour/NaOH ratio is a parameter analyzed in this process. Although they are important, studies on this topic are scarce in the literature. That said, the work consisted in determining the ideal flour/NaOH ratio for the gelatinization of depressants based on corn, sorghum and millet and in proving the effectiveness of the process under optical microscopy with polarized light. Subsequently, flotation tests with niobium ore using corn, millet and sorghum flours and their respective mixtures as depressants were carried out and the results were compared with industrial corn starch. The results showed that the new proposed depressants used smaller amounts of NaOH to be gelatinized in relation to corn starch. The optical microscopy stage confirmed the disruption of Maltese crosses for all flours, indicating complete gelatinization. The best pyrochlore depressant was sorghum flour and the results showed statistical similarity with corn starch.

Keywords: Gelatinization; Flours; Sorghum; Millet; Corn.

1 Introdução

A flotação é uma das operações de concentração característica de molhabilidade dos minerais envolvidos que possibilita a separação dos minerais, sendo que a governa a seletividade de todo o processo [1]. Para alcançar

¹Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral, Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão, GO, Brasil.

²Engenharia de Minas, Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão, GO, Brasil.

*Autor correspondente: ancarsil@ufcat.edu.br



a seletividade e promover uma separação efetiva, reagentes devem ser inseridos ao sistema para controlar a diferença das características superficiais dos minerais presentes no minério [2].

Dentre os reagentes utilizados, os depressores são essenciais e se adsorvem de forma seletiva sobre a superfície das partículas minerais dificultando, ou inibindo, a interação do coletor com as mesmas [3]. Os amidos são polissacarídeos amplamente utilizados como depressores em diversos circuitos de flotação para minérios distintos [4].

Estes reagentes são formados sobretudo por moléculas de amilose e amilopectina e, embora sejam compostos semelhantes, a amilose é um polímero linear insolúvel, enquanto a amilopectina é um polímero ramificado que apresenta elevada solubilidade [5]. Sabe-se ainda que os grânulos de amidos, quando observados em microscópio óptico de luz polarizada, de forma natural apresentam birrefringência, demonstrando uma estrutura altamente organizada do grão. A refração pelas suas regiões cristalinas deriva no modelo típico de “Cruz de Malta” [6].

Os grânulos de amido são insolúveis em água fria [7], de modo que para promover a quebra/abertura das cadeias de amilose e amilopectina na solução, os grânulos devem passar por um processo denominado de gelatinização. Esta etapa pode ser realizada via térmica (empregando energia térmica) e/ou alcalina (adição de um álcali) [8]. Quando gelatinizados, estes grânulos de amido incham, sofrem a perda da birrefringência e, conseqüentemente, levando à destruição da “Cruz de Malta” [9].

Atualmente, o método empregado nas indústrias minerais é a gelatinização alcalina [10]. Nesse tipo de gelatinização, as moléculas da suspensão de amido absorvem parte do álcali. No Brasil, o hidróxido de sódio (NaOH) é utilizado [11]. As principais variáveis deste tipo de processo são o nível de adição de NaOH e o tempo de gelatinização [12]. Com relação à primeira variável, a ação depressora do reagente é fortemente reduzida com o aumento da fração não gelatinizada do amido na etapa de gelatinização e esta pode ser explicada pela relação amido/NaOH utilizada [13].

É notória a importância da relação amido/NaOH nos processos de gelatinização. No entanto, na literatura, ainda são escassos os estudos que avaliam, de forma aprofundada, qual a melhor relação amido/NaOH nos processos de gelatinização [8,14,15]. Ainda além, os estudos existentes focam principalmente no amido de milho, principal depressor empregado na indústria mineral brasileira [16]. Em razão do consumo elevado e do custo deste reagente, pesquisas estão sendo desenvolvidas acerca da utilização de reagentes alternativos para serem empregados como depressores [17]. Amidos/farinhas provenientes do arroz [18], batata [19], inhame [20], mandioca [21], cana-de-açúcar [22], sorgo [23] e milho [24] já foram testados como possíveis substitutos ao milho.

Assim sendo, os objetivos desta pesquisa foram determinar a quantidade mínima de NaOH necessária para a completa gelatinização das farinhas de milho (FB), sorgo (FS)

e milho (FM) bem como das misturas binária (FBFS, FBFM e FSFM) e ternária (FBFSFM); verificar se a gelatinização foi efetiva com a quantidade de NaOH utilizada, através de ensaios de microscopia ótica com luz polarizada e, por fim, realizar ensaios de flotação em bancada com os reagentes gelatinizados e comparar o desempenho dos mesmos com o amido de milho empregado industrialmente.

2 Materiais e métodos

Os grãos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (1G100 Dow Agrosiences) e o milho pérola (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) (ADR 300), doados pela empresa Agrocere, foram coletados próximo ao município de Ipameri/GO. O preparo das farinhas a partir dos grãos seguiu as etapas propostas por Silva et al. [25].

A adição de NaOH às farinhas puras e suas respectivas misturas foi feita de forma individual, para determinar o volume exato de solução necessário para a completa gelatinização dos depressores empregados. Esta etapa seguiu a metodologia adaptada proposta por Silva et al. [26], alterando a massa dos depressores para 2,5 g, a alíquota de solução de NaOH 10% (p/v) para 0,5 mL e o tempo para adição de cada alíquota de soda a cada 30 segundos. As relações farinha/NaOH para as farinhas foram comparadas com a relação amido/NaOH utilizada para gelatinizar o amido de milho empregado industrialmente.

A análise via microscopia ótica da solução contendo a farinha previamente à titulação de NaOH foi realizada com o objetivo de visualizar as cruces de Malta presentes em cada uma delas. Após a titulação com a solução de NaOH, uma nova etapa de microscopia foi conduzida para avaliar o rompimento das cruces de Malta observadas antes da titulação. Para ambas as operações foi utilizado um microscópio Bresser Biolux NV - Technic Professional Microscope. Cada uma das amostras foi disposta em uma lâmina para microscopia de vidro lapidado. Em seguida, foram feitas as observações e realizadas as micrografias com aumento de 10 vezes.

A amostra utilizada e a água de processo foram provenientes da Niobras, empresa responsável pelo processamento do minério de nióbio na cidade de Catalão, situada em Goiás. A coleta do material foi realizada no *underflow* de uma bateria de hidrociclones, que antecede a alimentação da etapa da flotação de carbonatos do circuito *Boa Vista Fresh Rock* (BVFR). A Niobras também caracterizou as amostras da alimentação, dos concentrados e dos rejeitos utilizando-se a fluorescência de raios-X (espectrofotômetro PanAlytical, Axiox, DY 0781).

Os testes de flotação em etapa *rougher* foram realizados em célula mecânica de bancada tipo Denver, em uma cuba de 2,0 L, em triplicata. Os parâmetros operacionais dos testes, bem como o preparo dos reagentes coletor (Lioflot 502-A), depressor (Stargill™ 6172) e regulador de pH (NaOH 10% (p/v)), utilizados industrialmente, seguiram os parâmetros

operacionais adotados pela empresa (Tabela 1) e foram detalhados por Silva [27]. As farinhas e suas respectivas misturas foram gelatinizadas conforme metodologia proposta por Silva [28]. O volume do depressor utilizado foi padronizado para cada teste, pois o sorgo e o milho possuem viscosidade final superiores ao milho. Essa adaptação metodológica foi considerada tendo em vista a necessidade operacional das bombas dosadoras usadas para a adição do depressor ao condicionamento da usina [28]. As recuperações metalúrgicas de Nb₂O₅ obtidas com o uso das farinhas e suas misturas para a etapa *rougher* foram comparadas com os resultados obtidos para o amido de milho utilizado industrialmente.

3 Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os valores médios de dosagem ideal de NaOH para a gelatinização de cada uma das farinhas puras e das misturas utilizadas, bem como o valor de pH onde ocorreu o ponto de virada para cada um dos depressores avaliados. Dentre as farinhas analisadas, a FS teve um maior gasto de NaOH (9,5 mL) em pH 13,96 ± 0,03. As farinhas FM e FB, por sua vez, tiveram um gasto equivalente de NaOH (9,0 mL) nos pH 13,99 ± 0,02 e 14,04 ± 0,01, respectivamente. No que tange às misturas, a FSFM careceu do maior valor de NaOH (9,0 mL), quantidade semelhante às FM e FS, porém a virada da solução ocorrendo em um pH inferior (13,93 ± 0,02). A mistura binária FBFS gastou, em média, 8,75 ± 0,30 mL de NaOH para gelatinizar, sendo que o ponto de virada ocorreu em pH 13,97 ± 0,02. As misturas FBFM e FBFSFM consumiram a mesma dosagem de NaOH (8,5 mL de NaOH) nos pH 13,94 ± 0,01 e 13,85 ± 0,05, respectivamente. A determinação do consumo ideal de NaOH a ser empregado na solução de farinha e água é essencial, pois quando este valor é conhecido, uma gelatinização efetiva pode ser realizada, evitando-se, assim, um desperdício de reagentes. É válido ressaltar que os valores de pHs foram obtidos naturalmente após a adição do reagente e não foram ajustados posteriormente.

Embora os resultados sejam aparentemente similares tanto para o consumo de NaOH quanto para o pH no ponto de virada, as Figuras 2 e 3 mostram que existe diferença significativa entre os depressores empregados para as duas variáveis analisadas, respectivamente. Do ponto de vista de consumo médio de NaOH, a FS foi o único depressor que apresentou diferença significativa quando comparada aos

demais reagentes puros e suas respectivas misturas (p<0,05). Os depressores puros (FB e FM) e a mistura binária FSFM não apresentaram diferença significativa no consumo de NaOH (p>0,05). A mistura ternária FBFSFM não apresentou diferença significativa quando comparado às misturas FBFS e FBFM (p>0,05). No que tange ao pH médio, a mistura ternária FBFSFM foi o depressor que apresentou diferença significativa quando comparado aos demais reagentes puros e suas respectivas misturas binárias (p<0,05).

A Tabela 2 mostra a relação farinha/NaOH gasta para cada um dos depressores utilizados, em comparação com a relação amido/NaOH do depressor empregado industrialmente. Os valores encontrados para a dosagem de NaOH necessária para a gelatinização das farinhas e suas respectivas misturas foram inferiores (entre 8,5 mL e 9,0 mL), mas próximos aos valores observados nos trabalhos de Silva [28] e Sousa [6], para o sorgo e o milho, respectivamente. Para o amido de milho, Souza e Magalhães [15] encontraram a melhor relação de amido/NaOH como sendo de 4:1.

A microscopia óptica com luz polarizada teve como principal intuito analisar se a gelatinização proposta foi efetiva, levando em conta o rompimento das cruces de Malta. Denardin e Silva [29] mencionam que, ao serem submetidos à gelatinização, os grânulos de amido sofrem a perda da birrefringência.

Para todos os casos analisados, comprovou-se o rompimento e, conseqüentemente, desaparecimento das

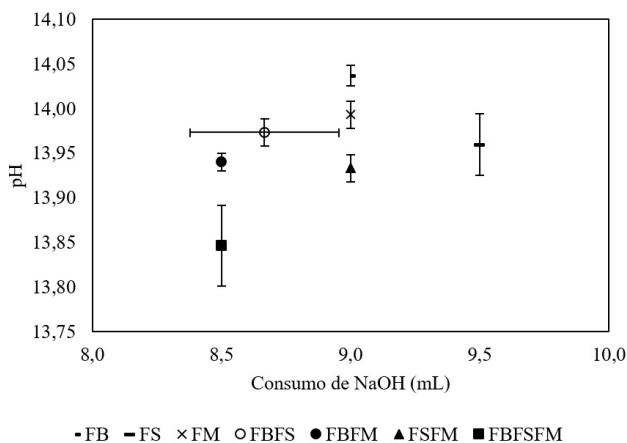


Figura 1. Dosagem de NaOH para a gelatinização dos depressores e os valores de pH correspondentes no ponto de virada.

Tabela 1. Condições operacionais dos testes de flotação em bancada

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
% sólidos no condicionamento	55	Dosagem do coletor (g/t)	100
% sólidos na flotação	42	Concentração do coletor (%)	5
Velocidade do impelidor condicionamento (rpm)	1400	Tempo de flotação (min)	2
Velocidade do impelidor flotação (rpm)	1300	pH condicionamento	11
Vazão de ar (L/min)	4,0	pH flotação	10,3
Volume de depressor adicionado (mL)	7,2	Tempo condicionamento coletor (min)	3
Dosagem amido de milho (g/t)	800	Tempo condicionamento depressor (min)	7

Fator	N	Média	Agrupamento
FS	3	9,50	A
FSFM	3	9,00	B
FM	3	9,00	B
FB	3	9,00	B
FBFS	3	8,67	C
FBFSFM	3	8,50	C
FBFM	3	8,50	C

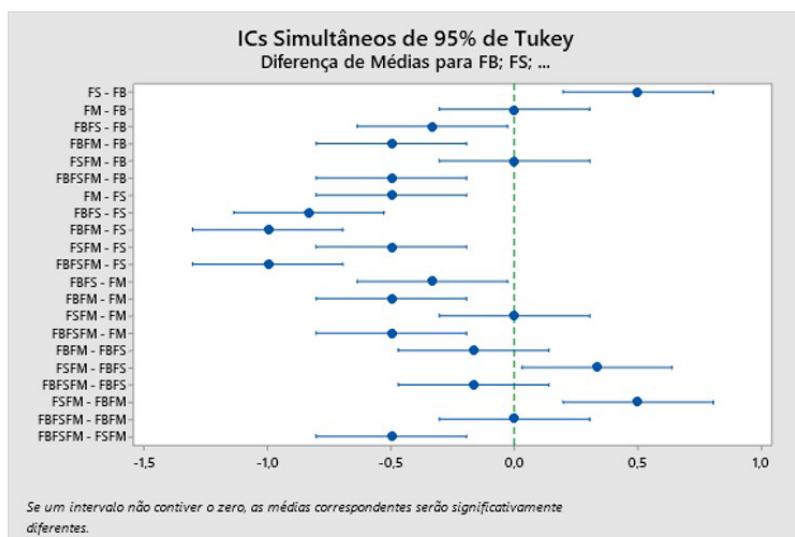


Figura 2. Teste Tukey para comparar a diferença existente entre os depressores utilizados quanto ao consumo de NaOH.

Fator	N	Média	Agrupamento
FB	3	14,0367	A
FM	3	13,9933	A B
FBFS	3	13,9733	A B
FS	3	13,9600	B
FBFM	3	13,9400	B
FSFM	3	13,9333	B
FBFSFM	3	13,8467	C

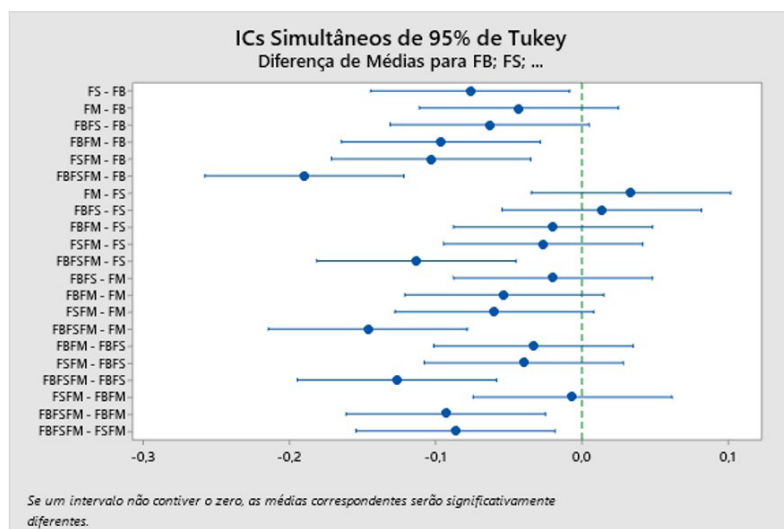


Figura 3. Teste Tukey para comparar a diferença existente entre os depressores utilizados quanto ao pH no ponto de virada.

Tabela 2. Relação ideais de farinha e amido/NaOH para a gelatinização dos depressores

Tipo de depressor	FB	FM	FS	FBFS	FBFM	FSFM	FBFSFM	Stargill™ 6172
Relação	2,78/1	2,78/1	2,63/1	2,94/1	2,94/1	2,78/1	2,94/1	2,17/1

Cruzes de Malta (Figura 4h), assegurando um êxito na operação a partir das dosagens determinadas no item 3.1. De maneira análoga, esse comportamento também se repetiu para as misturas empregadas (Figura 4). Para Sousa [30] “a titulação com NaOH na complexa solução amido/NaOH mostrou-se uma ferramenta interessante para análise do ponto de gelatinização”. Souza e Magalhães [15] afirmam que a presença de grânulos não rompidos ou inchados varia de acordo com a relação entre amido/NaOH e tempo de reação. A gelatinização quando mal executada compromete a eficiência do depressor, uma vez que existe a necessidade

da quebra das estruturas cristalinas e abertura das cadeias para que a interação com os minerais aconteça. No geral, a dissolução/gelatinização dos grânulos de amido é complicada e é afetada por vários fatores [31].

As Figuras 5 e 6 apresentam as recuperações mássica e metalúrgica em função do teor para as farinhas puras e suas misturas para CaO e Nb₂O₅, respectivamente. A flotação reversa de nióbio é feita com vistas a remover os carbonatos e outros minerais portadores de cálcio e, por esse motivo, o artigo foca no presente elemento e no Nb₂O₅. As análises referentes ao CaO são para o flotado e para o Nb₂O₅ são

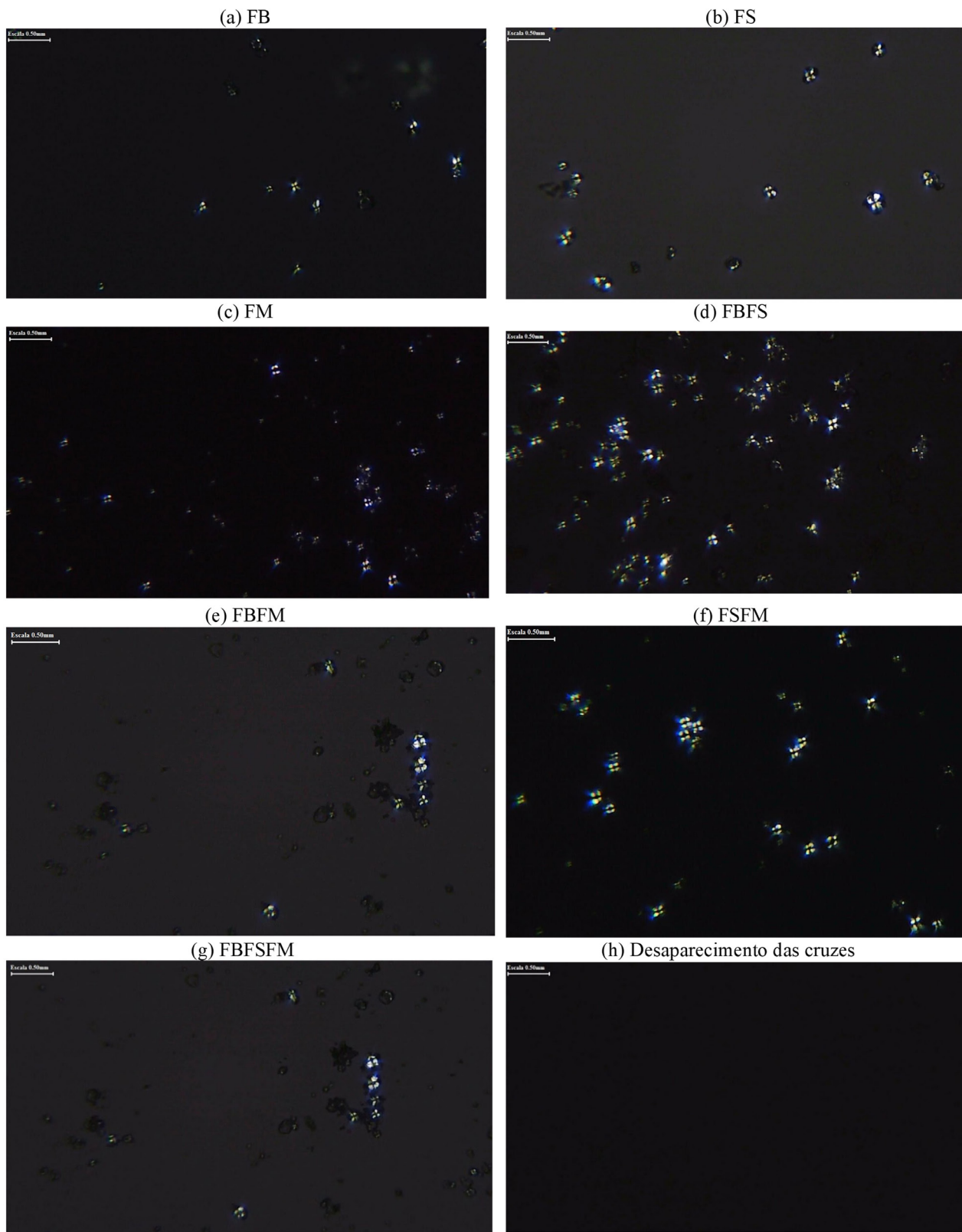


Figura 4. Soluções das farinhas puras e misturas (a,b,c,d,e,f,g) previamente à gelatinização e (h) pós gelatinização vistas sobre microscopia óptica com luz polarizada.

para o afundado. Dentre os reagentes alternativos propostos, o FB foi o depressor que produziu os teores médios mais

altos de CaO ($34,11 \pm 1,80\%$), 2,61% e 3,49% maiores em relação a FS e FM, respectivamente (Figura 5a). Quando

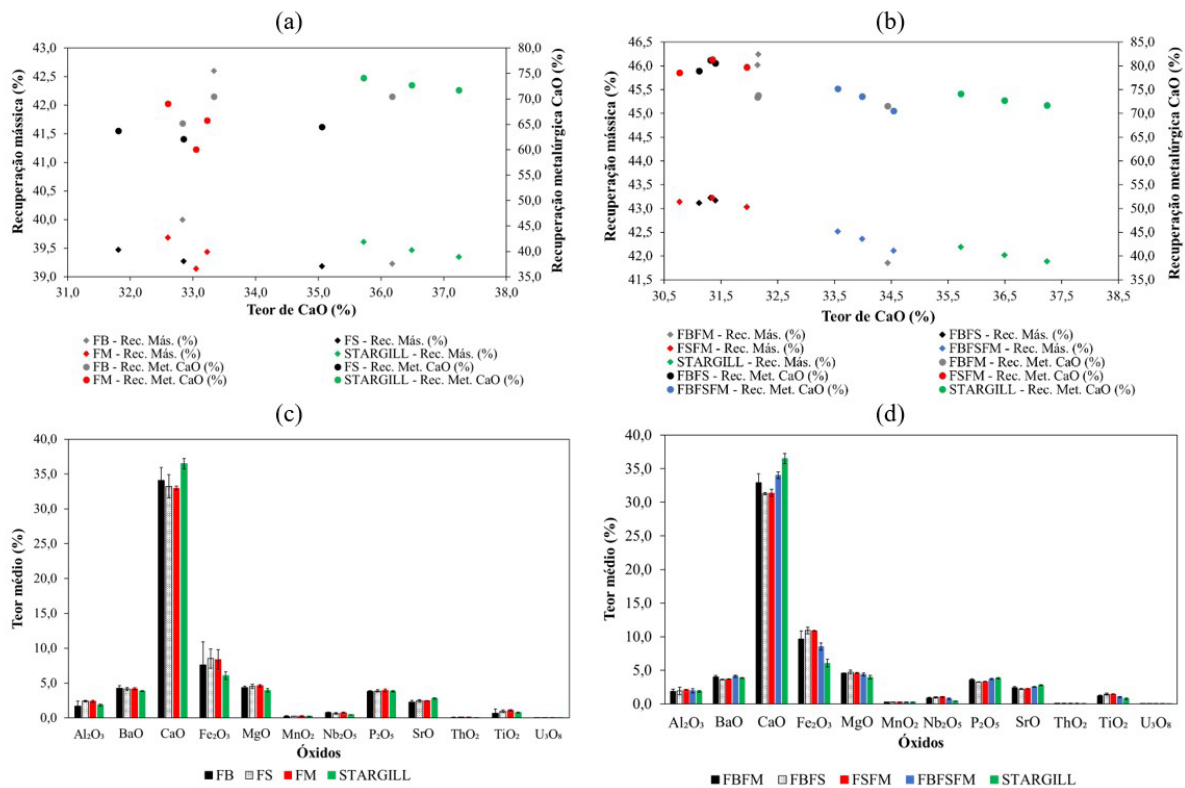


Figura 5. Recuperações mássica e metalúrgica em função do teor de CaO no flotado para as farinhas puras (a) e misturas (b). Teores médios dos óxidos majoritários no flotado para as farinhas puras (c) e misturas (d).

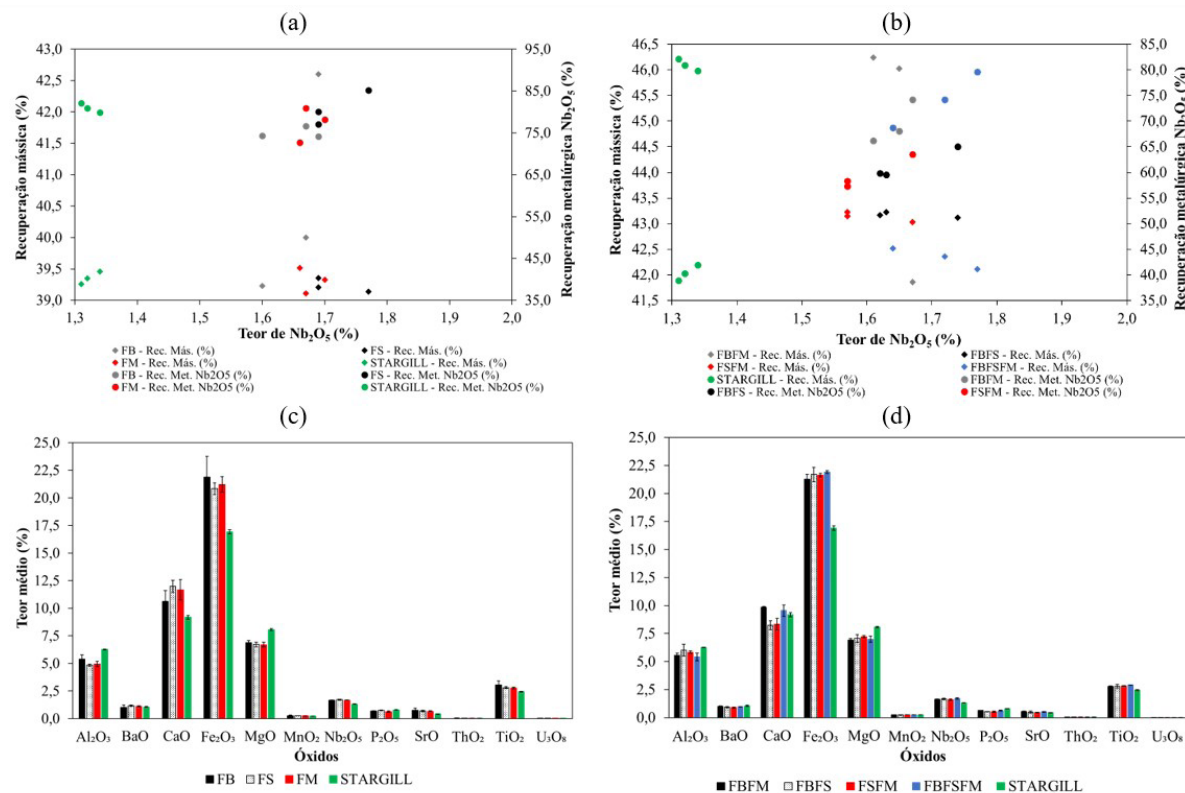


Figura 6. Recuperações mássica e metalúrgica em função do teor de Nb₂O₅ no afundado para as farinhas puras (a) e misturas (b). Teores médios dos óxidos majoritários no afundado para as farinhas puras (c) e misturas (d).

comparado às misturas, o teor médio de CaO para o FB foi superior em no máximo 9% (Figuras 5a e 5b). Para a recuperação mássica, o desempenho das misturas binárias e ternárias foi mais satisfatório do que as farinhas puras, sendo o FBFS a opção que apresentou a maior recuperação mássica (média de $51,68 \pm 0,54\%$) (Figura 5b). De maneira análoga à análise anterior, o FBFS foi a alternativa que apresentou a maior recuperação metalúrgica (média de $80,23 \pm 1,13\%$) (Figura 5b).

A análise do Nb_2O_5 evidenciou que a FS foi o depressor que obteve maior recuperação metalúrgica média ($80,75 \pm 4,10\%$), seguido pela FM ($77,25 \pm 4,16\%$) e pelo FB ($75,03 \pm 1,36\%$) (Figura 6a). Do ponto de vista estatístico, ao realizar o teste t de *Student* para as médias de recuperação metalúrgica de Nb_2O_5 para a FS e para o amido de milho Stargill™ 6172, observou-se que os valores foram estatisticamente iguais para um intervalo de confiança de 95% ($p > 0.05$). Isso, por sua vez, demonstra a eficácia do processo de gelatinização executado, pois a farinha de sorgo conseguiu deprimir o pirocloro tão bem quanto o amido tradicionalmente utilizado industrialmente. Além disso, a análise do teor de Nb_2O_5 no afundado corrobora a superioridade da FS (média de $1,72 \pm 0,05\%$) como reagente depressor, produzindo um afundado com teor de Nb_2O_5 de 3,8% e 2,3% maior em relação às farinhas puras FB (média de $1,65 \pm 0,05\%$) e FM (média de $1,68 \pm 0,02\%$), respectivamente (Figura 6a). Esse destaque se mantém quando comparado às misturas binárias e ternárias (Figura 6b), com valor de teor de Nb_2O_5 maior em até 7,3%. Quando comparado com o reagente tradicionalmente utilizado (amido de milho), a superioridade desse parâmetro é de 30,3% (média de $1,32 \pm 0,02$) (Figura 6a).

A superioridade do sorgo em relação às demais fontes botânicas na produção de um reagente depressor a ser utilizado no processo de flotação mineral pode ser explicada em função do alto teor de amilopectina presente nesse grão. Franco *et al.* [32] afirmam que a eficiência do depressor está diretamente ligada à quantidade de amilopectina presente no

amido. As farinhas oriundas das fontes botânicas também são compostas por proteínas e estas, por sua vez, podem ter influenciado na depressão do pirocloro.

Duodo *et al.* [33] mencionam que as cafirinas (proteínas do sorgo) são equivalentes às zeínas (proteínas do milho). Por serem parecidas, a cafirina pode ter deprimido o pirocloro assim como a zeína deprimiu a hematita nos estudos conduzidos por Peres e Correa [34]. Pesquisas também apontam o sorgo como potencial depressor de outros minerais como a apatita [35] e hematita [23].

4 Conclusão

A análise de microscopia óptica demonstrou que a gelatinização das farinhas foi efetiva nas condições empregadas. Para todos os casos ocorreu a destruição e rompimento das cruces de Malta o que, segundo a literatura, comprova a eficácia do processo. Dentre todos os depressores analisados, o Stargill™ 6172 foi o que consumiu a maior quantidade de NaOH para ser gelatinizado. Já as farinhas FBFS, FBFM e FBFSFM foram as opções que consumiram menor quantidade de álcali no processo de gelatinização. Por outro lado, a farinha de sorgo teve o melhor desempenho como depressor de pirocloro, apresentando resultados estatisticamente similares ao amido de milho industrial e, embora não tenha sido a opção mais econômica dentre as farinhas analisadas, ainda apresentou uma quantidade inferior de NaOH para ser gelatinizada quando comparada ao amido de milho industrialmente utilizado.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à empresa Niobras/CMOC por permitir a realização desta pesquisa, ao LaMPPMin e à UFG/Regional Catalão.

Referências

- 1 Castro A, Brum IAS, Zanetti E, Zancan P, Johann D. Análise do sistema de reagentes na flotação de finos de carvão mineral de Moatize/Moçambique. In: Anais do XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; 2017; Belém. Belo Horizonte: UFMG; 2017. p. 1-8.
- 2 Fuerstenau MC, Jameson G, Yoon RH. Froth Flotation: a century of innovation. USA: SME; 2009.
- 3 Baltar CAM. Flotação no tratamento de minério. 1. ed. Recife: Departamento de Engenharia de Minas, UFPE; 2008.
- 4 Araujo AC. Starch modification of the flocculation and flotation of apatite [doctor thesis]. Vancouver: University of British Columbia; 1988.
- 5 Nunes APL, Peres AEC. Reagentes depressores de carbonatos: uma revisão. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2011.
- 6 Sousa DN. Avaliação do uso da farinha e amido de milho como depressores na flotação de minerais [tese]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2019.
- 7 Alier M, Casañ MJ. Pão sem glúten: princípios, técnicas e truques para fazer pão e outras receitas sem glúten. Babelcube; 2017.
- 8 Silveira MACW, Paula NN, Ferreira RF, Peixoto RV, Oliveira V, Mata VOA. Efeito da variação da relação amido/soda no processo de flotação catiônica de quartzo. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração.

- Anais do XLIII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas; 2013. Araxá, Brazil. São Paulo: ABM; 2013. p. 1099-1108.
- 9 Monte MBM, Peres AEC. Química de Superfície na Flotação. In: Luz AB, Sampaio JA, França SCA. Tratamento de Minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010. p. 399-461.
 - 10 Batisteli GMB. Amina residual na flotação catiônica reversa de minério de ferro [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.
 - 11 Aguiar MAM. Clatratos na flotação catiônica reversa de minérios de ferro [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2014.
 - 12 Costa AB, Moreira WR, Paula MC, Assis NS. Influência da temperatura da água na gelatinização de amido de milho para o processo de concentração por flotação de minério de ferro. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do XLIII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas; 2013. Araxá, Brazil. São Paulo: ABM; 2013. p. 1182-1192.
 - 13 Reis RLR. Propriedades e aplicação do griz de milho na flotação catiônica reversa de minérios itabirítico [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 1987.
 - 14 Candido LM, Coelho JPS, Santini AWH, Moreira WR, Totou AR, Rodrigues RR. Influência da concentração do amido na gelatinização. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do XVIII Simpósio de Mineração; 2017. Araxá, Brazil. São Paulo: ABM; 2017. p. 115-123.
 - 15 Souza AC, Magalhães DG. Influência do grau de gelatinização do amido de milho no processo de flotação reversa de minério de ferro. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2016;13(2):141-147.
 - 16 Moreira WR. Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2013.
 - 17 Souza AC, Magalhães DG. Influência do grau de gelatinização do amido de milho no processo de flotação reversa de minério de ferro. In: Anais do XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; 2015; Poços de Caldas. Belo Horizonte: UFMG; 2015. p. 1-9.
 - 18 El-Midany AA, Arafat Y, El-Faris TF. Rice starch as a depressant in phosphate reverse flotation. *Stärke*. 2015;67:745-751.
 - 19 Kar B, Sahoo H, Rath SS, Das B. Investigations on different starches as depressants for iron ore flotation. *Minerals Engineering*. 2013;49:1-6.
 - 20 Santos FS. Potencial de uso do amido de inhame (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) na indústria de mineração [dissertação de mestrado]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2001.
 - 21 Souza AL, Albuquerque RO, Lameiras FS, Praes PE, Peres AEC. Use of depressants in the direct flotation of a silicate-carbonate phosphate ore. *Revista Escola de Minas*. 2014;67(2):191-196.
 - 22 Marins TF, Rodrigues OMS, Reis EL, Beltrão JG. Utilising starches from sugarcane and cassava residues as hematite depressants. *Minerals Engineering*. 2020;145:1-5.
 - 23 Silva EMS, Peres AEC, Silva AC, Florencio DL, Caixeta VH. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 2 – flotation tests. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019;8(1):403-410.
 - 24 Silva ACS, Sousa DN, Silva EMS. Hematite and quartz microflotation using millet starch as depressant. *Revista Escola de Minas*. 2021;74(1):107-116.
 - 25 Silva EMS, Peres AEC, Silva ACS, Leal MCDM, Lião LM, Almeida VO. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 1 – extraction and characterization. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019;8(1):396-402.
 - 26 Silva EMS, Peres AEC, Silva ACS, Sousa DN. Temperature influence in cornstarch gelatinization for froth flotation. *Revista Escola de Minas*. 2017;70(2):231-235.
 - 27 Silva LAS. Análise técnico-econômica da mistura das farinhas de milho, milheto e sorgo como depressor de nióbio na flotação de carbonatos [dissertação]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2021.
 - 28 Silva EMS. Utilização de amido de sorgo como depressor na flotação de minérios [tese]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2018.
 - 29 Denardin CC, Silva LP. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Ciência Rural*. 2009;39(3):945-954.
 - 30 Sousa DN. Depressores alternativos na flotação catiônica reversa de minério de ferro [dissertação]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2016.

- 31 Yang S, Chao L, Wang L. Dissolution of starch and its role in the flotation separation of quartz from hematite. *Powder Technology*. 2017;320:346-357.
- 32 Franco CML. Propriedades gerais do amido. São Paulo: Fundação Cargill; 2001.
- 33 Duodo KG, Taylor JRN, Belton P, Hamaker BR. Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science*. 2003;38:117-131.
- 34 Peres AEC, Correa MI. Depression of iron oxides with corn starches. *Minerals Engineering*. 1996;9:1227-1234.
- 35 Silva EMS, Peres AEC, Silva AC, Elwert T, Tuchtfieldd S. Apatite flotation using sorghum as depressant. In: *Anais do XXVII Balkan Mineral Processing Congress*; 2017; Antalya. Istanbul: ITU; 2017. p. 411-421.

Recebido em: 17 Mai 2022

Aceito em: 12 Set. 2022