



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102019010299-3 A2



(22) Data do Depósito: 21/05/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 01/12/2020

(54) **Título:** UTILIZAÇÃO DE AMIDO E FARINHA DA FONTE BOTÂNICA MILHETO (PENNISSETUM GLAUCUM (L) R. BR), NATURAL OU DESLIPIDIZADO COMO DEPRESSORES NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIOS

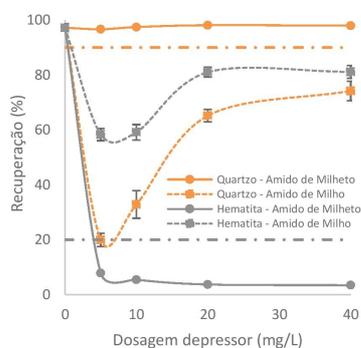
(51) **Int. Cl.:** B03D 1/016.

(52) **CPC:** B03D 1/016; B03D 2203/02.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS; INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO.

(72) **Inventor(es):** ANDRÉ CARLOS SILVA; ELENICE MARIA SCHONS SILVA; DÉBORA NASCIMENTO SOUSA.

(57) **Resumo:** Caracterizada por visar a aplicação do amido, farinha natural, deslipidizada ou desproteínada, puro ou em misturas binárias, terciárias ou qualquer combinação da fonte botânica milheto (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br) como reagente depressor na flotação de minérios. Testes de microflotação realizados em tubo de Hallimond utilizando-se depressor de farinha e amido de milheto mostraram seu potencial, deprimindo cerca de 95% da hematita testada e não influenciando na flotabilidade do mineral de quartzo apresentando resultados melhores do que o amido de milho. Para os testes realizados com mineral de apatita, observou-se que o amido e farinha de milheto são depressores mais potente que o amido de milho. Nos testes realizado para o minério de fosfato, para a etapa rougher, apesar de o amido e farinha de milho se destacarem mais na recuperação mássica e metalúrgica observou-se um maior teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para quando se utiliza o depressor da fonte botânica milheto. Os resultados indicam uma possível substituição do reagente depressor atualmente utilizado, com a vantagem de não ser um alimento humano e mostrando uma alternativa viável econômica e tecnicamente, pois seu custo de safra é em média 20% menor que o grão de milho, além de suportar variações climáticas.(...).



(a)

**RELATÓRIO****UTILIZAÇÃO DE AMIDO E FARINHA DA FONTE BOTÂNICA MILHETO  
(*Pennisetum glaucum* (L) R. Br), NATURAL OU DESLIPIDIZADO COMO  
DEPRESSORES NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIOS**

[001] Caracterizada por uma inovação aplicando-se o amido e a farinha de milho como reagente depressor na flotação de minérios, que é uma etapa de concentração mineral, atualmente, são utilizados amidos de milho, devido sua disponibilidade, portanto existem outros amidos mandioca, batata e sorgo, recentemente vem crescendo os estudos em prol de amidos modificados, porém seu custo ainda não se tornou competitivo ao amido de milho nativo.

[002] O reagente coletor no processo de flotação de minérios é responsável por tornar as partículas minerais hidrofóbicas, no entanto, em algumas situações os coletores não são seletivos, recobrando indiferentemente as partículas minerais, dessa forma, para induzir uma seletividade é necessário adicionar o depressor, o qual previne a adsorção dos coletores na superfície dos minerais que não se deseja flotar.

[003] Uma planta do Cerrado Brasileiro, em 1929 surgiu as primeiras plantas de milho no Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, com principal finalidade pastoreio para o gado, denominada forrageira, no anos 90 houve um aumento da expansão da cultura em razão do avanço do plantio direto nas regiões onde a gramínea se desenvolve bem por causa das situações adversas de clima e solo e a produtividade de grãos de milho varia de 500 a 1500 Kg ha<sup>-1</sup>.

[004] Com o milho (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br), planta capaz de tolerar estresse hídrico, baixa fertilidade natural dos solos (principalmente baixo fósforo e deficiência de molibdênio), baixa capacidade de retenção de água, baixo índice de pH e altas temperaturas. Propõe o amido e a farinha de milho para substituição total ou parcial do reagente depressor atualmente utilizado que é o amido de milho.

[005] O potencial de utilização de amido e farinha de milho como depressor e sua eficiente atuação nos processos de flotação, comparando-se com o amido de milho convencionalmente utilizado, contribui com a utilização de grão de fácil plantio, baixo custo e ainda que não é utilizado como alimento humano e pouco utilizado como ração animal.

[006] A flotação, de forma geral, é um importante processo que viabilizou o desenvolvimento industrial, com a recuperação de minerais necessários para fomentar o desenvolvimento. Trazer uma nova alternativa de depressor, o invento contribui com um processo de flotação mais eficiente e a um custo menor. O amido possui boas características como ser biodegradável, não tóxico, de baixo custo e atende aos requisitos técnicos, se mostrando uma boa opção para a depressão mineral.

[007] De acordo com Guimarães et al. (2005) a espuma na flotação, não é afetada quando o conteúdo de óleo é menor que 4% para flotação de minério de ferro e menor que 1,5% para flotação de minério de fosfato, uma vez que os coletores utilizados nesse sistema normalmente são sabões de ácidos graxos, os quais atuam também como espumante. Contudo o invento propõe-se a deslipidização da farinha de milho, ou seja, a retirada do óleo para completa utilização da fonte botânica milho como reagente na mineração.

[009] O amido de milho é, atualmente, considerado o depressor universal utilizado na flotação de vários bens minerais. Sua substituição pelo amido e farinha de milho em processos de flotação, sem perdas na recuperação, significará um grande avanço para o setor mineral, uma vez que existe uma competição pelo milho, o qual se destina também à alimentação humana e animal, sendo grande parte do milho produzido destinado ao mercado externo.

[010] O estudo das projeções de produção do cereal, realizado pela Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa, indica aumento de 19,11 milhões de toneladas entre a safra

de 2008/2009 e 2019/2020. Em 2019/2020, a produção deverá ficar em 70,12 milhões de toneladas e o consumo em 56,20 milhões de toneladas. Esses resultados indicam que o Brasil deverá fazer ajustes no seu quadro de suprimentos para garantir o abastecimento do mercado interno e obter excedente para exportação, estimado em 12,6 milhões de toneladas em 2019/2020.

[011] O milho possui características de cultivo que fazem com que seu custo seja menor que o milho, por se tratar de uma planta rudimentar e fácil plantio. Esses fatores contribuem para que o milho tenha um preço de mercado em torno de 30% menor que o milho, diminuindo os custos envolvidos na obtenção do depressor. Além disso, o milho não é utilizado na alimentação humana no Brasil. No entanto, sua utilização industrial ainda não está estabelecida, evitando a competição entre indústria mineral e alimentícia pela obtenção do produto.

[012] Destaca que não existe uso do amido e a farinha de milho natural, deslipidizado ou desproteinado, assim como em meio a composição binária, terciária, quaternária ou qualquer combinação com uso da fonte botânica milho (*Pennisetum glaucum (L) R. Br*) como depressor na etapa de flotação de minerais.

[013] Ensaio de flotação foram realizados e comprovaram resultados semelhantes e até superiores ao amido de milho, sendo considerado tecnicamente e economicamente viável, uma vez que é um novo mercado para o grão de milho e este por não concorrer com uso na alimentação torna-se menos volátil às variações comerciais quando comparado ao amido de milho, atualmente o mais utilizado.

[014] Os grãos de milho passaram por um processo de limpeza, classificação granulométrica e secagem em estufa. A farinha de milho foi obtida mediante cominuição dos grãos em moinhos de cereais. Secou-se o milho a 35 °C durante 30 horas. Após a obtenção da farinha de milho, realizou-se a extração do amido: gerou-se uma suspensão com 500 g de farinha de milho e 2 L de solução de bissulfito de sódio 0,16% (p/v), deixou-se a suspensão coberta com filme plástico na geladeira por 24h.

[015] Em seguida, drenou-se o sobrenadante e acrescentou-se aproximadamente 500 mL de água destilada. A suspensão foi agitada em liquidificador em potência máxima por cinco minutos. Realizou-se então, peneiramento da suspensão para remoção da fração grosseira e, em seguida, centrifugou-se o decantado em centrífuga por cinco minutos e removeu-se a camada não-branca. Utilizou-se água destilada na lavagem do amido. A etapa de limpeza foi realizada até que o amido ficasse completamente branco. Em seguida, realizou-se a secagem do amido em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C por 12 h. Ao final, uma etapa de desagregação do amido seco foi realizada.

[016] Obteve-se a farinha deslipidizada através da extração do óleo da mesma, utilizando solventes orgânicos convencionais, através da técnica de extração Soxhlet. O sistema de extração é composto por um extrator Soxhlet, acoplado na parte inferior a um balão e na parte superior a um condensador. O solvente contido no balão permanece em contato com uma fonte de aquecimento, evapora e atravessa o braço do extrator Soxhlet atingindo o condensador. Após ser resfriado, o solvente condensa e passa a gotejar sobre a amostra que fica dentro de um cartucho de papel filtro acondicionado no extrator Soxhlet.

[017] Quando o solvente em contato com a amostra atinge o nível do sifão do extrator ocorre o refluxo, o solvente retorna ao balão carregando consigo os compostos solubilizados e o processo recomeça. Uma etapa posterior é necessária para recuperação do solvente no rotaevaporador. As condições utilizadas na extração Soxhlet foram: 20 g de matéria prima; 150 mL de solvente; tempo de refluxo igual a 6h; aquecimento controlado através da taxa de gotejamento no condensador (4 a 5 gotas/s). Os solventes usados foram: hexano, diclorometano, acetato de etila e etanol.

[018] Os coletores utilizados foram os industrialmente utilizados para os referidos minerais, sendo: Flotigam EDA, fornecido pela Clariant, sendo coletados os silicatos. A hematita é convencionalmente deprimida em ensaios de flotação com auxílio do depressor, uma vez que se utiliza a flotação reversa e o flotigam 5806, fornecida pela

Clariant para flotação do mineral apatita.

[019] Para comprovar o potencial do reagente milho como depressor, realizou-se 3 baterias de testes, sendo: Testes de flotação em tubo de Hallimond com os minerais de quartzo e hematita sobre as mesmas variáveis operacionais; testes de flotação em tubo de Hallimond com o mineral de apatita, alterando pH's trabalhados, dosagem do depressor, dosagem e tipo de coletor utilizado; e por último testes em célula de flotação em bancada.

[020] Para os testes de flotação em tubo de hallimond não utilizou-se espumante. O processo de gelatinização dos amidos foi realizado utilizando-se solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 10%, foram realizados em triplicata e os resultados são representados a partir de sua média. A vazão de ar foi definida em 40 cm<sup>3</sup>/min pressão a 10 psi, valor este que proporciona menor arraste hidráulico para os minerais de hematita e quartzo no tubo de Hallimond conforme estudos bibliográficos. Utilizou-se dosagens depressoras de (0, 5, 10, 20 e 40 mg / L) e quatro valores de pH (9, 9,5, 10 e 10,5).

[021] O tempo de condicionamento foi de 5 min para o depressor e depois mais 1 minuto para o coletor conforme sugerido pela metodologia Clariant que forneceu o reagente coletor. O tempo de flotação e a massa do mineral são, respectivamente 1 minuto e 1g, granulometria da partícula está entre -149 + 105 µm (-100 + 150 #). A concentração do coletor Flotigam EDA (éter amina) foi baseada em pesquisas realizadas pela empresa Clariant, na dosagem de 20 mg/L para hematita e 5 mg / L para quartzo e sua preparação consistiu na adição de 1,0 g do coletor à água destilada até um volume total de 100 mL (1 % w/v) sob agitação magnética, conforme recomendado pelo fabricante, assim variando somente os depressores.

[022] A gelatinização do depressor foi realizada adicionando 2,7 mL de hidróxido de sódio a 10% a uma solução de 20,0 mL de água destilada e 1,0 g de amido, a solução foi mantida sob agitação magnética até completa gelatinização. Visando analisar a

eficiência do depressor sobre a partícula mineral de apatita, realizou-se testes de flotação em tubo de Hallimond com as mesmas variáveis operacionais dos minerais de hematita e quartzo supracitados, exceto pH, dosagem do depressor, dosagem e tipo de coletor utilizado. Utilizou-se pH's 9,5, 10, 10,5 e 11, variou-se o depressor em concentrações de 0, 1,25, 2,5 e 3,75 mg.L<sup>-1</sup> manteve-se o coletor Flotigan 5608, doado pela empresa Clariant a uma concentração de 1 mg.L<sup>-1</sup>.

[023] Com intuito de melhor investigar o potencial do milho (Pennisetum glaucum (L) R. Br, realizou-se testes em célula de flotação em bancada com minério de fosfato, equipamento CDC – Mod. CFB-1000EPPN, em um cuba de 2 L, 1.153 g de minério de fosfato, com 2,96 g/cm<sup>3</sup> e a polpa com densidade de 1,45 g/cm<sup>3</sup>. O teor de sólidos utilizado foi de 47% e a velocidade de rotação em torno de 1200 rpm. O controle de pH será feito com auxílio de um pHmetro a ser colocado dentro da célula.

[024] Utilizou-se as dosagens de 460, 500 e 540 g/t e pH's de 9,5;10 e 10,5 permitiu-se o condicionamento do mesmo por 5 minutos. Em seguida, adicionou-se 30 g/t do espumante Flotisor 5730 fornecido pela empresa Miracema, permitindo o condicionamento por 2,5 minutos por fim adiciona-se 50% do volume calculado de coletor, sendo a base para o cálculo a dosagem de 320 g/t, os outros 50 % de coletor é será adicionado na etapa scanveger de flotação.

[025] Após o início da entrada de ar e formação da espuma, iniciou-se a remoção do material flotado manualmente, de forma constante e criteriosa por 2 minutos. As frações flotadas e afundadas foram removidas, secas em estufa e encaminhadas para as análises químicas. O controle da vazão e pressão de ar foram realizados com auxílio de um rotâmetro e manômetro. Os ensaios de flotação em célula foram conduzidos objetivando-se estudar a performas dos depressores propostos milho comparado ao milho.

[026] Realizou-se uma comparação simultânea dos resultados de flotação para os

minerais de hematita e quartzo, conforme uma flotação de minério de ferro catiônica reversa, testou-se os depressores amido de milho e amido de milho nas mesmas condições como apresentado na figura 1 recuperação de hematita e quartzo em função da dosagem do depressor amido de milho e amido de milho nos pH's (a) 9,0 (b) 9,5, (c) 10 e (d) 10,5. Dois limites teóricos foram estabelecidos para a recuperação de minerais. A recuperação de quartzo aceitável inferior foi fixada em 90% e a recuperação de hematita mais alta aceitável foi de 20% e ainda ressalta que para um bom sistema de flotação catiônica reversa espera-se afundar os minerais óxido de ferro e flotar a sílica.

[027] Observa-se na figura 1 que o amido de milho apresentou resultados mais satisfatórios que o amido de milho. Apenas no pH 10 o amido de milho atingiu o limite teórico para o quartzo na dosagem de  $10\text{mgL}^{-1}$ , este maior desempenho do amido de milho comparado ao milho pode estar associado a quantidade de amilopectina que é um flocculante poderoso, desempenha-se papel de um depressor mais efetivo em minerais portadores ferro.

[027] Observa-se na figura 2 flotabilidade da apatita em função da concentração do depressor para pH: (a) 9,5, (b) 10, (c) 10,5 e (d) 11, manteve-se o coletor a uma concentração de  $1\text{mg.L}^{-1}$  e variou-se o depressor em concentrações de 0, 1,25, 2,5 e  $3,75\text{mg.L}^{-1}$ . No pH 9,5 obteve-se no ponto  $0\text{mg.L}^{-1}$  de depressor uma flotabilidade média de 63,71 %, a luz do aumento do pH de 9,5 para 10 aumentou-se também a recuperação de apatita que atingiu 82% de flotabilidade, em contrapartida, quando aumentou-se o pH para 10,5 a recuperação caiu para aproximadamente 68% e em conformidade com Oliveira (2007) em pH 11 a recuperação caiu bruscamente para aproximadamente 21% de flotabilidade de apatita.

[028] Apesar de não ser esperado uma depressão acentuada do mineral de apatita na presença de um coletor ácido graxo, por esperar um sistema de flotação direta, no qual flota-se apatita e deprime os demais minerais do sistema como óxidos de ferro, contudo este fato já havia sido observado por Pinto et al. (1992). No pH de 9,5 a farinha de

milheto proporcionou maior depressão quando comparado aos demais depressores testados, que são amido de milheto e amido de milho, na primeira concentração testada de 1,25 mg.L<sup>-1</sup> deprimiu-se aproximadamente 95% do mineral, que se manteve progressivo até a concentração de 3,75 mg.L<sup>-1</sup>.

[029] No pH 10 e 10,5 repetiu-se a performance da farinha de milheto, contudo observa-se maior constância na depressibilidade do amido de milho e uma maior adsorção do amido de milheto nas partículas de apatita, se aproximando dos resultados obtidos na farinha de milheto. Em contrapartida quando aumentou-se o pH para 11, tornando o meio mais alcalino notou-se menor depressão em ambos reagentes, portanto mais evidente para o amido de milho. De acordo com Raju, Holmgren e Fossling (1997, 1998) os minerais de calcita, dolomita e apatita por serem portadores de cálcio, deveriam ser deprimidos pelo amido.

[030] Contudo na prática industrial, observa-se a seletividade na adsorção do amido sobre a calcita em detrimento da interação amido/apatita. Segundo Leal Filho et al (2000) o amido deprime seletivamente a calcita em um sistema Apatita/Calcita para concentrações abaixo de 15mg.L<sup>-1</sup> sem deprimir a apatita. Horta (2013) ainda afirma que minerais de origens diferentes podem reagir de maneira desigual a luz da ação depressora dos amidos. Hoang et al (2018) afirma que em um sistema que existe apenas um mineral, como no processo de microflotação de apatita, é inevitável que ocorra a adsorção do amido na superfície do mesmo, levando-os a depressão, mesmo que em baixas concentrações.

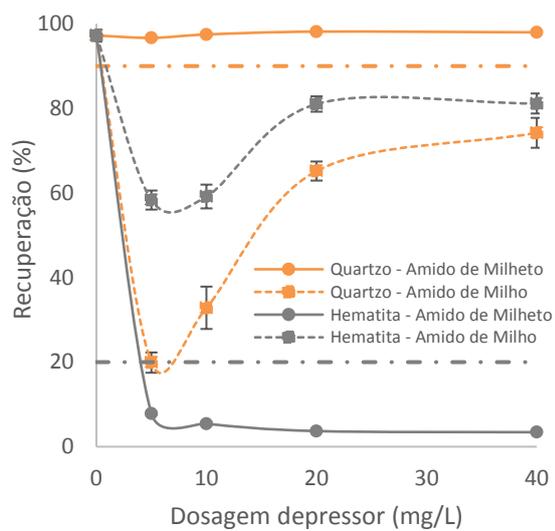
[031] Na figura 3 observa-se a correlação entre o conteúdo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e recuperações metalúrgicas e mássicas (%) para os depressores amido e farinha de milheto versus amido e farinha de milho. Observou-se uma menor recuperação mássica e metalúrgica para o depressor de milheto quando comparado ao milho, portanto em contrapartida o depressor de milheto se destaca com maior teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, apresentando assim sua seletividade e potencial como reagente depressor.

### REIVINDICAÇÕES

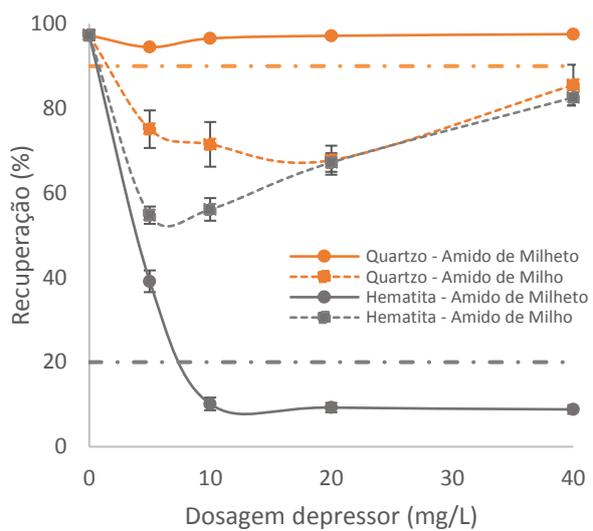
- 1 – Utilização de amido e farinha da fonte botânica milheto (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br), natural ou deslipizado como depressores na flotação de minérios caracterizada por uso do amido, farinha natural, deslipidizada ou desproteïnada, puro ou em misturas binárias, terciárias ou qualquer combinação da fonte botânica milheto (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br) como reagente depressor na flotação de minérios;
- 2 – Caracterizada por apresentar potencial para substituição total ou parcial do amido e farinha de milho amplamente utilizado atualmente pelas indústrias minerárias;
- 3 – Caracterizada por possibilidade de uso da fonte botânica milheto (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br) como depressor é inédita, de origem natural, sustentável e não é utilizado como alimento humano, tem menor custo de agregado em seu plantio e é uma espécie de planta rudimentar e resistente.

## FIGURAS

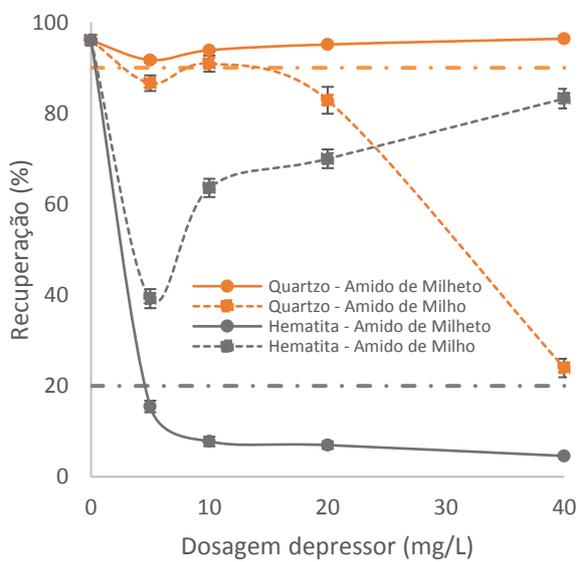
Figura 1.



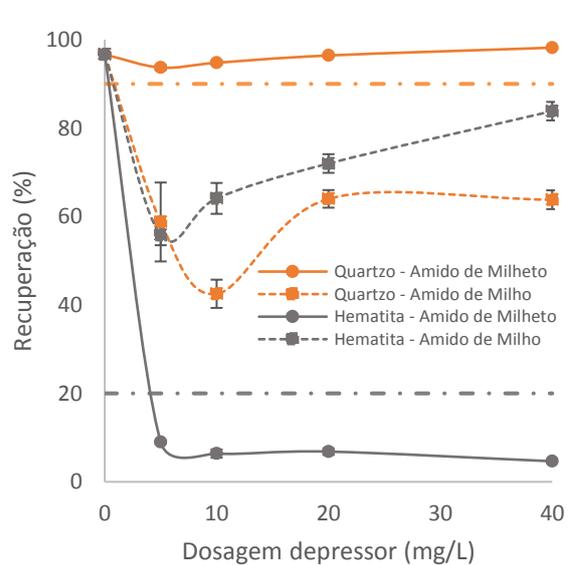
(a)



(b)

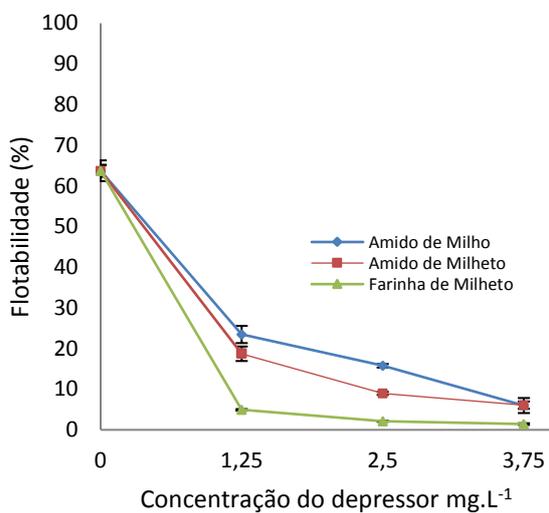


(c)

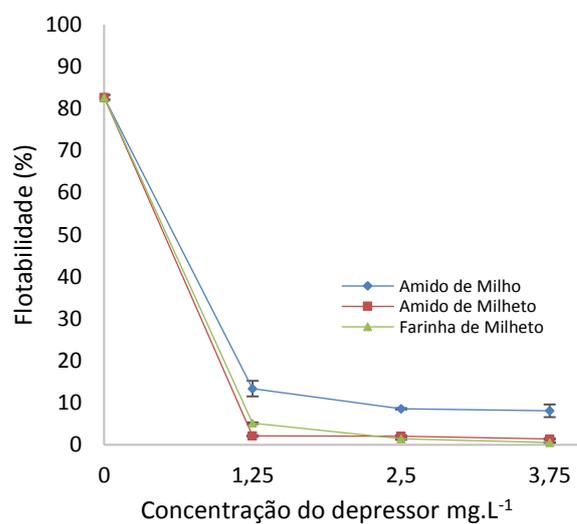


(d)

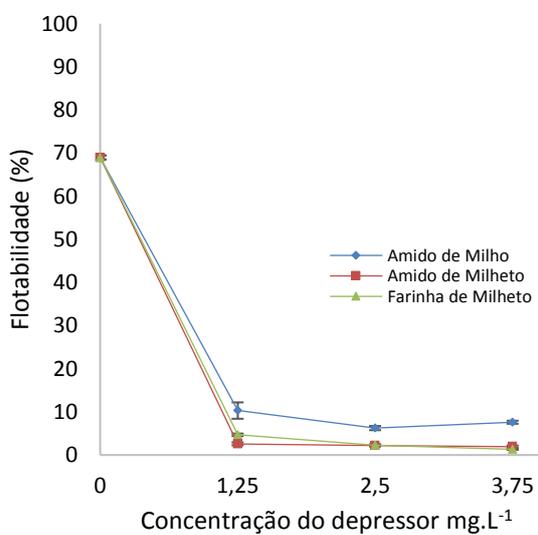
Figura 2.



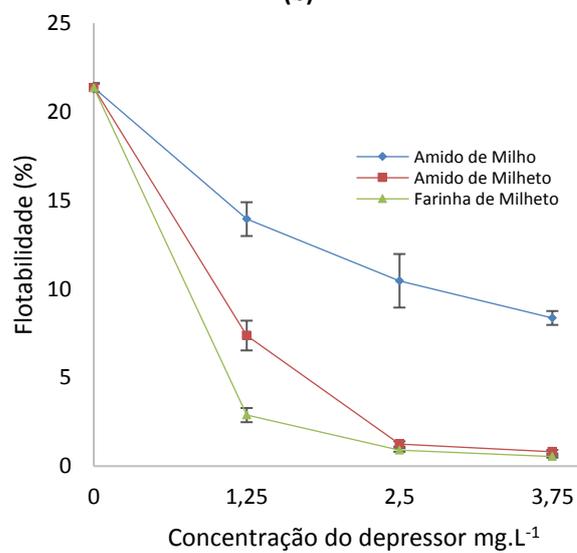
(a)



(b)

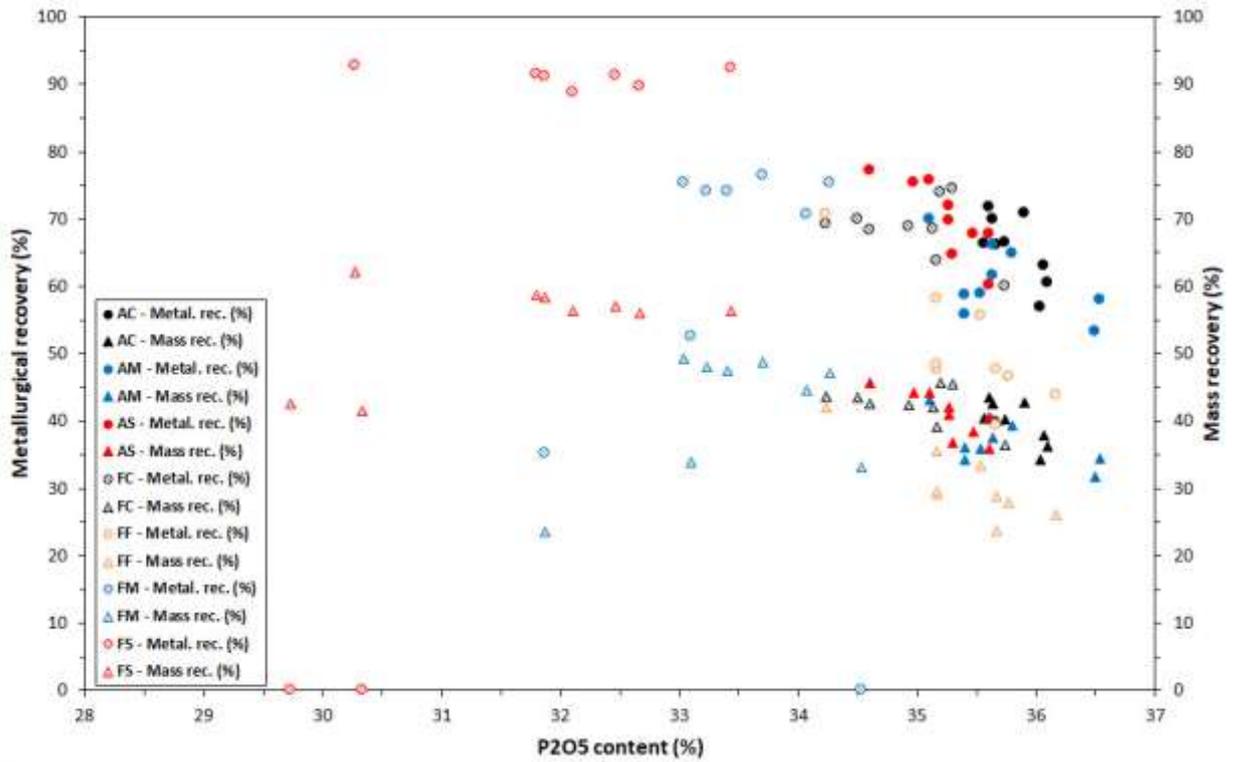


(c)



(d)

Figura 3.



**RESUMO****UTILIZAÇÃO DE AMIDO E FARINHA DA FONTE BOTÂNICA MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br), NATURAL OU DESLIPIDIZADO COMO DEPRESSORES NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIOS**

Caracterizada por visar a aplicação do amido, farinha natural, deslipidizada ou desproteïnada, puro ou em misturas binárias, terciárias ou qualquer combinação da fonte botânica milheto (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br) como reagente depressor na flotação de minérios. Testes de microflotação realizados em tubo de Hallimond utilizando-se depressor de farinha e amido de milheto mostraram seu potencial, deprimindo cerca de 95% da hematita testada e não influenciando na flotabilidade do mineral de quartzo apresentando resultados melhores do que o amido de milho. Para os testes realizados com mineral de apatita, observou-se que o amido e farinha de milheto são depressores mais potente que o amido de milho. Nos testes realizado para o minério de fosfato, para a etapa rougher, apesar de o amido e farinha de milho se destacarem mais na recuperação mássica e metalúrgica observou-se um maior teor de  $P_2O_5$  para quando se utiliza o depressor da fonte botânica milheto. Os resultados indicam uma possível substituição do reagente depressor atualmente utilizado, com a vantagem de não ser um alimento humano e mostrando uma alternativa viável econômica e tecnicamente, pois seu custo de safra é em média 20% menor que o grão de milho, além de suportar variações climáticas.