

POTENCIAL DO AMIDO MODIFICADO COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE REJEITO DE MINERAÇÃO DE FERRO

Grupo 03 – Meio ambiente: clima, água e ar
Eixo: Análise de tecnologias e inovações
voltadas para a preservação do meio
ambiente, incluindo soluções para a redução
da poluição do ar e da água.

Sarah Cristina Silva ¹
Joaquina da Márcia Jaime Muchico ²
Marco Antônio da Silveira ³
Rodolfo Appoloni Crippa ⁴
Marco Aurélio Carbone Carneiro ⁵
Mateus Pimentel de Matos ⁶

Resumo

Para reduzir o acúmulo de rejeitos de mineração em barragens, o seu aproveitamento se apresenta como uma importante alternativa. Para essa utilização, torna-se fundamental adensar e concentrar o rejeito, reduzindo os teores de água, como na técnica de uso de coagulantes. Neste contexto, o amido apresenta estrutura de potencial emprego como agente coagulante de partículas sólidas, devendo, no entanto, investigar as condições ótimas de preparo e a concentração adequada a ser utilizada. Objetivou-se, assim, avaliar a aplicabilidade da utilização de diferentes concentrações de amidos modificados comerciais, tratados com duas distintas técnicas de pré-preparo (hidrolisado em meio ácido ou submetido à pré-gelatinização por tratamento físico) no tratamento de um rejeito de mineração de ferro simulado em laboratório. Utilizando Jar test, em triplicata com três diferentes dosagens (0,5; 1,0 e 1,5%), em mistura a 75 rpm por 10 minutos e repouso por 10 minutos, fez-se a análise do sobrenadante quanto à turbidez, pH e condutividade elétrica. Verificou-se que o amido hidrolisado em meio ácido proporcionou maior remoção na dosagem de 1,0% (turbidez final de 51 NTU). Utilizando o ajuste da equação de segunda ordem, obteve-se que a concentração ótima seria de 1,1%. Por fim, infere-se que há viabilidade técnica do emprego do amido, em razão dos menores custos e da baixa turbidez resultante (nas condições ótimas).

Palavras-chave: Coagulação; Gelatinização; Resíduos de Minério; Sustentabilidade; Turbidez.

¹ Sarah Cristina Silva, Química, Bacharel em Química, Universidade Federal de Lavras, Departamento de Química (DQI), sarahc.silva@outlook.com.

² Joaquina da Márcia Jaime Muchico, Mestre em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Ambiental (DAM), joaquina.muchico1@estudante.ufla.br

³ Marco Antônio da Silveira, Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Ambiental (DAM), silveira.marco@outlook.com.

⁴ Rodolfo Appoloni Crippa, Doutorado em Recursos Hídricos, Saneamento e Meio Ambiente, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), rodolfocrippa@gmail.com.

⁵ Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro, Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciência do Solo (DCS), Escola de Ciências Agrárias, marcocarbone@ufla.br.

⁶ Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos, Universidade Federal de Lavras – Departamento de Engenharia Ambiental (DAM), Escola de Engenharia, mateus.matos@ufla.br.

INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades econômicas de maior importância no Brasil, em razão da grande geração de riquezas, postos de trabalho e do potencial de investimento (ANM, 2018). No entanto, na atividade de exploração do subsolo também são produzidos resíduos, o estéril, armazenado em pilhas na área minerada; e o rejeito de mineração, comumente de elevado teor de umidade e armazenado em barragens (EMERMAN *et al.*, 2020). Dada a necessidade de descomissionamento dessas estruturas e de dar destinação final para os rejeitos acumulados (ANM, 2024), urge o desenvolvimento de tecnologias para o seu tratamento/aproveitamento do minério.

Esses subprodutos da mineração podem ser utilizados na construção de bases de estradas; na produção de sorventes; na confecção de agregados, na recuperação de elementos químicos (como Fe e Al), dentre outras possibilidades (IBRAM, 2016; SANT'ANA FILHO, 2013; SILVA, 2014). No entanto, para aumentar a eficácia do uso do rejeito e facilitar o seu transporte, é importante concentrar o resíduo, ou seja, reduzir o seu teor de água. Para isso, pode-se utilizar dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, com possibilidade de emprego de coagulantes químicos e naturais (EMERMAN *et al.*, 2020).

O amido é um polissacarídeo de estrutura complexa e de longo cadeia, o que resulta em propriedades distintas, como baixa solubilidade em água, alta viscosidade e a capacidade de formar gel (CEREDA, 2001). Em razão dessas características, o amido também apresenta potencial de uso como coagulante, facilitando a aglomeração das partículas de ferro, o que resulta no aumento do tamanho e da densidade de sólidos (SOUSA, 2016).

Entretanto, para otimizar o efeito coagulante do amido, algumas técnicas de preparo precisam ser realizadas. A gelatinização do amido de milho, frequentemente realizada pela indústria, para espessar produtos e proporcionar a geração de produtos farmacêuticos e materiais biodegradáveis, também permite a formação de um filme plástico que adsorve e varre as impurezas para o fundo dos tanques (COELHO *et al.*, 2010). Além da pré-gelatinização, ainda é possível utilizar de outras metodologias capazes de alterar as propriedades dos amidos, como a técnica de hidrólise ácida, com reações de ataque ácido

(íons hidroxônio, H_3O^+) às ligações, reduzindo as ramificações do grânulo, formando um filme plástico (MARTINS, 2020).

Apesar dos bons resultados encontrados em alguns trabalhos de emprego do amido no tratamento de rejeitos de mineração, como verificados por Souza e Magalhães (2016) e Aguiar *et al.* (2017), ainda são necessárias mais avaliações de forma a verificar as melhores condições a serem respondidas, tais como: a fonte de amido de melhor potencial, a forma de modificação mais adequada, o pH ideal, a concentração de coagulante mais propícia e os valores ótimos de concentração salina, além do melhor gradiente de velocidade, do tempo de detenção ótimo, dentre outras variáveis de influência.

Assim, com a realização do presente estudo, objetivou-se avaliar o potencial de emprego de diferentes concentrações de amidos comerciais, tratados com duas distintas técnicas de preparo (hidrolisado em meio ácido ou submetido pré-gelatinização por tratamento físico) no tratamento de um rejeito de mineração de ferro simulado em laboratório.

METODOLOGIA

a) Rejeito de mineração

O rejeito seco de mineração de ferro obtido foi misturado à água de torneira, de forma a simular o material acumulado em barragens. De acordo com o IPEA (2012) e Emerman *et al.* (2020), o teor de água do rejeito ao final do processo de beneficiamento do minério de ferro pode variar entre 10% e 80%, ou seja, tendo de 20-90% de sólidos. A partir desses dados, foi considerado o teor de sólidos de, aproximadamente, 40%, valor intermediário em relação ao apresentado na literatura, sendo preparado o rejeito simulado e avaliado no presente trabalho.

b) Amido e o tratamento

Nas avaliações, foram utilizados dois tipos de amidos de milho comerciais: (1) amido hidrolisado em meio ácido (AHI); (2) pré-gelatinizado (APG). Amostras de ambos os amidos foram caracterizados no laboratório de aplicação industrial, de uma indústria alimentícia, tendo o teor de proteínas obtido por meio do certificado de análise emitido pelo setor de qualidade da empresa, enquanto que para caracterização de açúcares totais (DS),

foi empregado o Refratômetro Digital Portátil PAL-1, considerando o método descrito em Lacerda *et al.* (2014).

Neste processo, pode-se fazer o aquecimento ou o tratamento químico, com alteração da conformação da estrutura, fazendo que as granulações de amido absorvam água e inchem, resultando na formação de uma rede tridimensional gelatinosa, aumentando a viscosidade e criando uma textura espessa (SPIER, 2010; SOUZA; MAGALHÃES, 2016).

Para gelatinização em escala laboratorial, o teor de NaOH utilizado foi determinado, de acordo com as orientações fornecidas pelo fabricante, sendo inicialmente preparado um slurry de 10% de amido e água de torneira. Em seguida foi adicionado o hidróxido de sódio de concentração de 50% (m/v), na proporção de 2,5 partes de amido para cada 1 parte de NaOH. Essa solução foi então mantida sob agitação mecânica por cerca de 10 minutos, com retirada de uma alíquota, que foi diluída para 1% de sólidos e reservada para posterior aplicação. Ao final do processo, fez-se a leitura do pH dos coagulantes, com utilização de um medidor de pH de bancada.

c) Ensaios de adensamento

Para a realização dos ensaios, foi utilizado o equipamento Jar-test: marca Milan, modelo JT303.M/6, presente no laboratório de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Em cada béquer inserido no equipamento, adicionou-se 1000 mL de solução (água de torneira + rejeito seco), tendo três repetições (triplicatas) para cada uma das cinco dosagens definidas (0,5%, 1,0% e 1,5%) dos dois tipos de amido analisados. O procedimento foi adaptado de Fernandes Junior *et al.* (2019), garantindo que as condições experimentais apresentassem precisão para assegurar a reprodutibilidade dos resultados, além de reproduzir as concentrações de coagulantes empregadas por Lipper *et al.* (2010).

Na simulação do tratamento do rejeito com uso do coagulante amido, a solução foi colocada para agitação a 75 rpm por 10 minutos, sendo posteriormente mantida em repouso por mais 10 minutos, conforme orientações do fabricante do amido. Em seguida, alíquotas de 250 mL foram retiradas ao final do ensaio para realização das análises de pH (pHmetro Tecnonon modelo LUCA-210), turbidez (Turbidímetro PoliControl modelo AP2000 iR

com faixa de medição de 0,00 a 1000 NTU) e condutividade elétrica (Condutivímetro AZ modelo: AKPH03446, escala: 0~1999 uS). Fez-se a análise das mesmas variáveis, sem repetição, no rejeito antes de iniciados os tratamentos, de forma a comparar a redução na turbidez (com os tratamentos) e o efeito sobre pH e CE (condutividade elétrica) após uso dos amidos em diferentes concentrações.

d) Análise estatística

Para comparação dos tratamentos (concentrações e tipos de amido), utilizou-se do teste estatístico de Tukey, empregado para para comparações múltiplas mais de dois tratamentos/grupos) (SILVA *et al.*, 2021; MARTINS, 2008; LOUREIRO; GAMEIRO, 2011; CAPP; NIENOV, 2020). As inferências estatísticas foram feitas com uso do software Statistica 12.0. Além dessa análise, também utilizou-se da estatística descritiva (média e desvio padrão) e do ajuste da equação de segunda ordem, para verificação das condições ótimas de tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Caracterização dos amidos utilizados

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da caracterização dos amidos utilizados, após realização do processo de gelatinização com uso do hidróxido de sódio (cozimento químico).

Tabela 1 - Resultados de análise dos amidos cozidos quimicamente

	pH	% DS	% Proteínas
Amido 1 (AHI)	12,62	-	0,4
Amido 2 (APG)	12,84	-	0,8

Em que, DS é o teor de açúcares totais.

Como apresentado na tabela, os índices refrativos, variável indicativa da presença de açúcares e de sólidos, não puderam ser medidos, o que indica, segundo Spier (2010), que o cozimento químico foi capaz de degradar as moléculas de amilose e amilopectina do polímero na condição alcalina, auxiliando assim na precipitação. Assim sendo, eleva-se a capacidade de floculação do coagulante produzido, podendo ser efetivo no tratamento do

rejeito de mineração.

Ademais, verificou-se que a pré-gelatinização resultou em um amido com maior teor de proteínas, o que pode resultar em melhores resultados no amido APG. Matos *et al.* (2013), por exemplo, verificaram haver maior capacidade de coagulação em extratos produzidos com sementes de Moringa oleifera de maiores teores de proteínas, em virtude do aumento da massa molecular do coagulante e conseqüentemente o aumento do peso do flocó. Em termos de pH, ambos apresentaram elevado potencial hidrogeniônico após uso do NaOH para gelatinização.

b) *Ensaio de coagulação*

Os resultados dos ensaios de Jar Test estão dispostos na Tabela 2, com a apresentação das médias das variáveis medidas, assim como dos testes estatísticos realizados.

Tabela 2 - Resultados das médias das variáveis e teste estatístico

Tratamentos	Variáveis analisadas nas alíquotas do sobrenadante		
	pH	CE (µS/cm)	Turbidez (NTU)
Branco*	8,61	183,1	> LD
0,5AHI	9,42bC	310cC	934aAB
1,0AHI	10,10aB	442bB	51cC
1,5AHI	10,25aAB	596aA	415bB
0,5APG	9,43bC	277cC	701aAB
1,0APG	10,34aAB	478bB	1100aA
1,5APG	10,78aA	614aA	721aAB

Em que, LD é o Limite de detecção. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferiram pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, na comparação entre os tratamentos de cada amido. Enquanto médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferiram no comparativo entre todos os tratamentos. * Sem repetições e análise feita no rejeito (antes dos tratamentos). O valor da turbidez pode não representar o valor real, já que ultrapassou a capacidade de medição do equipamento.

Verifica-se que há efeito significativos dos tratamentos na redução da turbidez, porém que visualmente (fotos não apresentadas) não foram identificadas grandes alterações entre os jarros/béqueres após submetidos aos tratamentos. Uma hipótese é de que a cor real,

proporcionada pelos sólidos dissolvidos, é uma variável de grande importância na composição dos rejeitos da mineração, não sendo afetado, em grande proporção pelo uso do amido. Segundo Santana *et al.* (2021), a presença de rejeitos de mineração contribui de forma expressiva para a elevação dos teores de ferro dissolvidos, que, por sua vez, alteram a cor, o que pode ter resultado no cenário encontrado após os tratamentos.

Ainda em relação aos oxi-hidróxidos de Fe e Al, pode ter ocorrido sorção dos átomos de oxigênio presentes na estrutura nos átomos de hidrogênio do amido, esse previamente preparado, aumentando assim a disponibilidade das ligações (GUEDES, 2012). Como consequência, há tratamentos mais efetivos do que outros na redução da turbidez, não sendo, no entanto, possível comparar com o rejeito *in natura* (antes do tratamento) em razão do valor encontrado não poder ter sido quantificado (superou o limite de quantificação do equipamento).

Contrariando a expectativa e o que está disposto em Matos *et al.* (2013) e em Othmani *et al.* (2020), o tratamento mais efetivo não foi com uso do amido de maior teor de proteínas. Assim sendo, as características da conformação da estrutura das cadeias do material parecem ser mais importantes do que o teor de aminoácidos. Como foram observados melhores resultados numéricos com o amido AHI no teor de 1,0%, a hidrólise ácida se mostrou mais adequada para o pré-tratamento do coagulante.

Segundo Borba *et al.* (2021), o amido hidrolisado possui cadeias de carboidratos quebradas pelo processo de hidrólise, deixando-as mais disponíveis para realizar a ligação e posterior floculação com os minérios. Já o amido APG, sendo um amido pré-gelatinizado, possui suas cadeias mais disponíveis para realizar a aglomeração do minério devido ao seu pré-tratamento.

A turbidez final da maioria dos tratamentos foi superior à 200 NTU, ou seja, maior que os valores reportados na literatura para diferentes águas residuárias tratadas. Leite (2019), por exemplo, verificaram redução da turbidez de rejeitos de mineração para valores entre 66 e 80 NTU. Assim, percebe-se que há algumas variáveis que influenciam na capacidade de sedimentação como, a turbidez inicial e também as características da solução em tratamento, bem como pH e concentração salina (MATOS *et al.*, 2013).

Para Borba *et al.* (2021) e Hoffmann *et al.* (2005), o tamanho das partículas que compõe a

água residuária influencia no processo de tratamento, sendo que partículas de grânulos maiores e com tamanhos irregulares, com tamanhos entre 2-15 mm, dificultam o processo de sedimentação. Com base na avaliação feita por Gomes *et al.* (2011), 41,19% das partículas do rejeito de mineração têm tamanho maior que 0,045 mm. Como consequência, o efeito do coagulante foi aquém dos resultados verificados por Leite (2019), com exceção do tratamento a 1,0% de coagulante.

Ademais, em muitos estudos, o amido é utilizado como auxiliar de coagulação/floculação, sendo empregado em conjunto com outros coagulantes, resultando em economia do uso de produtos químicos (DUARTE *et al.*, 2019). Assim sendo, a eficácia do tratamento poderia ser maior na combinação com uso de outros agentes aglomerantes. Também pode ter havido efeito do pH e da concentração salina, variável aferida indiretamente pela CE no presente trabalho. Estudos sugerem que a clarificação da água é mais eficaz em pH neutro, aproximadamente 7,0, quando se utiliza um agente coagulante (KOWATA *et al.*, 2000; MATOS *et al.*, 2007). Como, em razão da gelatinização com NaOH, o coagulante apresenta caráter básico (Tabela 1), essa condição também resulta em pH da solução acima da neutralidade, podendo prejudicar o tratamento. E à medida que mais coagulante é adicionado, maior também é o valor do potencial hidrogeniônico aferido nas amostras (Tabela 2).

Se o pH se eleva à medida que aumenta-se a dosagem aplicada, a CE também segue a mesma tendência (Tabela 2). Sabe-se que a condutividade elétrica (CE) é uma medida que quantifica a concentração de íons presentes na solução (LIMA *et al.*, 2017). Assim, o hidróxido de sódio adicionado para realizar o cozimento químico do amido é uma fonte importante desses íons, contribuindo para aumento da variável. Em alguns trabalhos como o de Matos *et al.* (2013), verificou-se que a adição de íons pode auxiliar na formação de pontes (até determinada concentração), apesar de não ter havido qualquer tendência na Tabela 2 para o amido APG. Para o amido AHI, a condição pode estar mais ligada à dosagem adicionada.

Em termos do comparativo entre as dosagens, os melhores resultados foram obtidos com a concentração de 1,0% do amido AHI. Outros autores também verificaram melhores condições de tratamento em doses intermediárias de coagulantes, como nos trabalhos de

Furtado (2017). E o motivo pode estar ligado à reestabilização de cargas em excesso de íons proporcionado pelo coagulante e/ou aumento da turbidez pela adição de maior massa de coagulante, em uma concentração que já não auxilia na sedimentação das partículas (O'MELIA, 1972; LUCAS, 2019).

Para inferir sobre a concentração ótima de amido AHI para fins de ação coagulante, construiu-se o gráfico de dosagem de coagulante x turbidez medida, apresentado na Figura 1. Com base no gráfico citado, e na equação extraída do mesmo ($y = 2494x^2 - 5507x + 3064$), concluiu-se que a concentração mais efetiva seria de 1,1%.

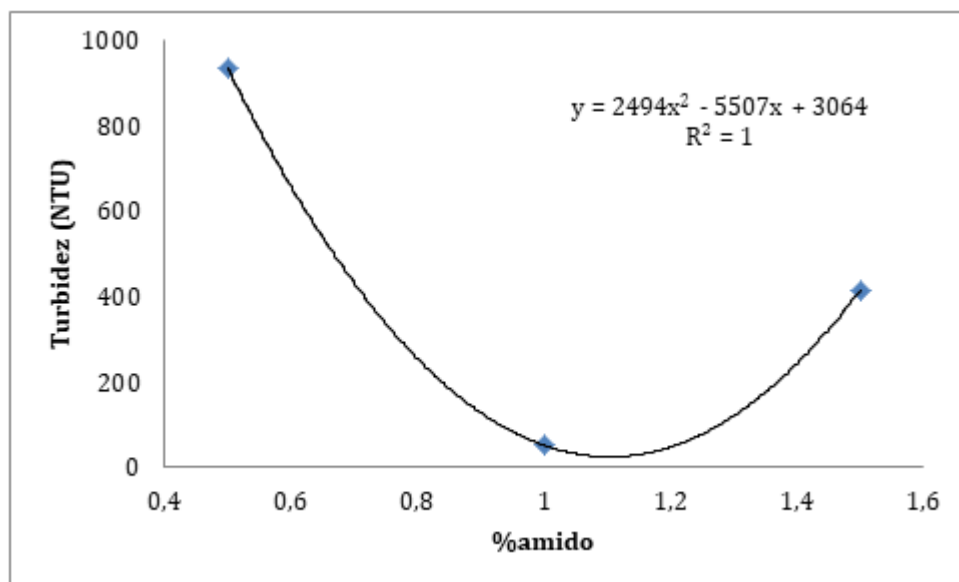


Figura 1. Dosagem de coagulante x turbidez medida.

Para efeitos de comparação, Martins *et al.* (2012), Moreira (2013) e Furtado (2017) sugerem dosagens de 500 a 1500 g/t de amido como depressor, no presente trabalho foram estudados teores de 0,5%, 1,0% e 1,5%, a fim de analisar o efeito de diferentes dosagens. Soares e al. (2024), analisou o teor ideal de floculantes catiônicos chegando ao valor ideal de 90g/t. Após uma análise de mercado, é possível verificar que os amidos modificados possuem um custo mais elevado comparados aos amidos que não possuem modificações, porém, levando em consideração as dosagens, para cada tonelada de rejeito gerado seriam necessários de 1 à 3 kg do amido em pó a depender do método adotado.

Dados os resultados obtidos, verifica-se que há potencial para emprego do amido como

coagulante, na dosagem de 1,1% com amido hidrolisado e gelatinizado, tendo baixa turbidez nestas condições e menores custos em comparação com os coagulantes tradicionalmente empregados.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que:

- O amido hidrolisado em meio ácido proporcionou melhores resultados do que o emprego daquele pré-gelatinizado;
- Os melhores resultados foram obtidos com a dosagem de 1% de amido hidrolisado, resultando em turbidez média de 51 NTU, significativamente menor (ao nível de 5% pelo teste de Tukey) do que os valores resultantes em outros tratamentos;
- Por meio de ajuste de equação de segunda ordem, a dosagem ótima obtida de coagulante hidrolisado foi de 1,1%;
- Há viabilidade técnica do emprego do amido em razão dos da baixa turbidez resultante (nas condições ótimas) além da vantagem de ser um produto sustentável.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos especiais ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Sumário Mineral Brasileiro**. Brasília: ANM, 2018.
- AGUIAR, M. A. M.; FURTADO, R. M.; PERES, A. E. C. Seletividade na flotação catiônica reversa de minério de ferro. **Holos**, v. 6, p. 126-135, 2017.
- BORBA, V. S.; SILVEIRA, C. O.; ALVES, J. B.; GROPELLI, V. M.; BADIALE-FURLONG, E. 31 - Modificações do amido e suas implicações tecnológicas e nutricionais. p. 428-457, *In: Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas*. Editora Científica Digital, 2021.
- CAPP, E.; NIENOV, O. H. (org). **Bioestatística quantitativa aplicada**. Porto Alegre: UFRGS, 260 p., 2020.
- CEREDA, M.P. **Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas: Propriedades Gerais do Amido**. 1ª ed., v. 1, Campinas: Fundação Cargill, 221 p., 2001.
- COELHO, T. M.; PARAGUAIO, T.; NETO, J. B. S. DOS S.; FILHO, N. A.; LUDEWIG, D. R. Estudo comparativo da floculação entre amido catiônico e amido interligado catiônico. 5 p. *In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Anais...*, Rio de Janeiro: ABEPRO, São

Carlos/SP, 2010.

DUARTE, K. B. X. P.; SILVA, P. G. B.; BARBOSA, R. B.; MARQUES, A. P.; MALAQUIAS, B. S.; OLIVEIRA, T. C.; SALIBA, W. A. Uso do amido de batata como auxiliar de floculação em processo primário de tratamento de água para diminuição de cor e turbidez. **Journal of Exact Sciences**, v. 20, n. 1, p. 18-21, 2019.

EMERMAN, S. H.; CONSULTING, M.; FORK, S. **Avaliação da barragem de rejeitos, do uso de cianeto e do consumo de água no Projeto de Ouro Volta Grande Proposto, Pará, Norte do Brasil**. 43 p., 2020.

FERNANDES JUNIOR, J.; CICILINSKI, A. D.; DÖLL, M. M. R. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação como tratamento de efluentes de Lava Car. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 220-226, 2019.

GOMES, M. A.; PEREIRA, C. A.; PERES, A. E. C. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 2, p. 233-236, 2011.

GUEDES, T. S. **Estudo sobre coletores na flotação catiônica reversa de minérios de ferro itabiríticos**. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerai) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte/MG, 80 p., 2012.

HOFFMANN, H.; WOLFF, D. B.; SILVA, B. S.; PLATZER, C.; COSTA, R. H. R. II-034 - Decantabilidade do lodo e formação de grânulos em reator sequencial por batelada. 8 p. *In*: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...**, Rio de Janeiro: ABES, Campo Grande/MS, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**, Brasília: IBRAM, 128 p., 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas - Relatório de pesquisa**. Brasília: IPEA, 46 p., 2012.

KOWATA, E. A.; RIBEIRO, J. T.; TELLES, D. D. Estudo da influência da turbidez e cor declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas. 6 p. *In*: II Simpósio de Iniciação Científica e Tecnologia e IX Expo-Edif, **Anais...**, São Paulo/SP, 2000.

LACERDA, A. L. S.; REIS, E. L.; BORGES, A. A. Uso do refratômetro óptico portátil para medição da concentração de soluções de amido na flotação reversa de minério de ferro. **Holos**, ano 30, v. 3, Edição especial, p. 239-244, 2014.

LEITE, A. M. C. **Amido natural e modificado como floculante de lama de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 73 p., 2019.

LIMA, L. C.; OLIVEIRA, J. F. D.; SIQUEIRA, J. C.; FIA, R.; MATOS, M. P. Determinação da concentração de sólidos dissolvidos totais por meio da medição da condutividade elétrica. 4 p. *In*: XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, **Anais...**, Jaboticabal: SBEA, Maceió/AL, 2017.

LIPPER, G.; PAULA, N. N.; SALES, C. G.; SILVA, B. C. B.; PEREIRA, A. E.; SILVEIRA, A. F.; FONSECA, A.; ROBERTO, J. B. Adequação da dosagem do depressor amido na flotação reversa de minério de ferro da usina de concentração de brucutu, p. 59-66. *In*: 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 11º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, **Anais...**, Belo Horizonte/MG, 2010.

LOUREIRO, L. M. J.; GAMEIRO, M. G. H. Interpretação crítica dos resultados estatísticos: para lá da significância estatística. **Revista de Enfermagem Referência**, v. 3, n. 3, p. 151-162, 2011.

LUCAS, J. F. R. **Flotação por ar dissolvido no pós-tratamento de efluente de indústria de produtos lácteos visando ao reúso**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e

Tecnológicas, Cascavel/PR, 222 p., 2019.

MARTINS, G. A. **Estatística Geral e Aplicada**. 3ª ed., São Paulo: Atlas, 421 p., 2008.

MARTINS, M.; LIMA, N. P.; LEAL FILHO, L. S. Depressão de minerais de ferro: influência da mineralogia, morfologia e pH de condicionamento. **Rem: Revista da Escola de Minas**, v. 65, n. 3, p. 393-399, 2012.

MARTINS, P. C. **Aplicação de modificação química em amidos: estratégias para melhoria de embalagens para alimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande/RS, 215 p., 2020.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S.; MUDADO, C. S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 544–551, 2007.

MATOS, M. P.; RIBEIRO, I. C. A.; BATISTA, A. P. S.; SILVA, E. F. Efeito da concentração de potássio na eficiência do extrato de sementes de moringa como agente coagulante. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 5, p. 476-481, 2013.

MOREIRA, W. R. **Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte/MG, 129 p., 2013.

O'MELIA, C. R. Coagulation and flocculation. p. 61-109. *In*: WEBER, W. J. (ed).

Physicochemical processes for water quality and control. New York: Wiley Interscience, 1972.

OTHMANI, B.; RASTEIRO, M. G.; KHADHRAOUI, M. Toward green technology: a review on some efficient model plant based coagulants/flocculants for freshwater and wastewater remediation. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, p. 1025-1040, 2020.

SANT'ANA FILHO, J. N. **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 131 p., 2013.

SANTANA, F. C.; FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VELOSO, G. V.; FERNANDES-FILHO, E. I.; SANTANA, A. J. P.; TIMO, L. B.; ROSA, A. P. Water quality of the Gualaxo do Norte and Carmo rivers after the Fundão dam collapse, Mariana, MG. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 232, p. 155, 2021.

SILVA, F. L. **Aproveitamento e reciclagem de resíduos de concentração de minério de ferro na produção de pavers e cerâmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 109 p., 2014.

SILVA, J. P.; SANTOS, Y. R. P.; BELLO, M. I. M. C. V. Aplicação da ANOVA e dos testes de Fisher e Tukey em dados de recalque de edifícios de múltiplos pavimentos. **Revista Principia**, v. 59, n. 3, p. 829-845, 2021.

SOARES, N. L. A.; SILVA, E. M. S.; SILVA, A. C. Estudo de floculante e meios filtrante na filtragem de rejeito de minério de ferro. **Revista Foco**, v. 17 n. 5, e4885, 24 p., 2024.

SOUSA, N. D. **Depressores alternativos na flotação catiônica reversa de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Organizacional) - Universidade Federal de Goiás, Catalão/GO, 106 p., 2016.

SOUZA, A. C; MAGALHÃES, D. G. Influência do grau de gelatinização do amido de milho. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 13, n. 2, p. 141-147, 2016.

SPIER, F. **Efeito dos tratamentos alcalino, ácido e oxidativo nas propriedades de amido de milho**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 72 p., 2010.