

# INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO AMIDO NA GELATINIZAÇÃO \*

Lívia Mara Cândido<sup>1</sup>  
João Paulo Sousa Coelho<sup>2</sup>  
Anderson Willian Henrique Santini<sup>3</sup>  
Wellington Ribeiro Moreira<sup>4</sup>  
Adriano Raimundo Totou<sup>5</sup>  
Ronaldo Raimundo Rodrigues<sup>6</sup>

## Resumo

As reservas de minério de ferro, apresentam tendências de menores teores de Fe, tornando maior a necessidade da redução da fração granulométrica inferior a 150µm, o que torna o processo viável tecnicamente por meio concentração. O método mais comum utilizado é a concentração através da flotação. Flotação é uma técnica de separação baseada na afinidade das espécies minerais com as moléculas de água. Na flotação reversa de minério de ferro, utilizam-se agentes que reforçam o caráter hidrofílico das partículas de Ferro, chamados de depressores. O mais comumente utilizado é o amido de milho em forma de solução, gelatinizado com a adição de soda cáustica. Dentro desse contexto e afim de aumentar o poder de gelatinização do depressor, foram realizados através do planejamento fatorial estatístico, ensaios de flotação em bancada, com diferentes concentrações iniciais e finais de amido de milho presente na solução e ainda a relação de amido/soda para avaliar o impacto sobre a recuperação metalúrgica da flotação, concluindo-se que recuperação metálica foram fortemente influenciados pela concentração inicial da solução de amido.

**Palavras-chave:** Flotação, Amido de Milho e Concentração.

## INFLUENCE OF STARCH CONCENTRATION IN GELATINIZATION

### Abstract

The iron ore reserves have tendencies of lower Fe content, making it necessary to reduce the granulometric fraction below 150µm, which makes the process technically feasible by means of concentration. The most common method used is concentration through flotation. Flotation is a separation technique based on the affinity of mineral species with water molecules. In the reverse flotation of iron ore, agents are used that reinforce the hydrophilic character of the iron particles, called depressors depressants. The most commonly used is corn starch in solution form, gelatinized with the addition of caustic soda. In this context and in order to increase the gelatinization power of the depressant, the statistical factorial design, bench flotation tests, with different initial and final concentrations of corn starch present in the solution and the relationship of starch and caustic soda to evaluate the impact on the metallurgical recovery of the flotation, it was concluded that metallic recovery were strongly influenced by the initial concentration of the starch solution.

**Keywords:** Flotation, Corn Starch and Concentration.

<sup>1</sup> Engenheira de Produção, Especialista em Engenharia Mineral, Engenheira de Processos, Gerência de Controle Operacional de Processos (GCOP), CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), Congonhas, Minas Gerais e Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Químico, Especialista em Engenharia Mineral, Engenheiro de Desenvolvimento, Gerência de Controle Operacional de Processos (GCOP), CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), Congonhas, Minas Gerais e Brasil.

- <sup>3</sup> *Administrador de Empresas, Especialista em Engenharia de Produção, Coordenador de Controle Operacional, Gerência de Controle Operacional de Processos (GCOP), CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), Congonhas, Minas Gerais e Brasil.*
- <sup>4</sup> *Engenheiro de Minas, Mestre em Tecnologia Mineral, Gerente de Controle Operacional de Processos, Gerência de Controle Operacional de Processos (GCOP), CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), Congonhas, Minas Gerais e Brasil.*
- <sup>5</sup> *Engenheiro de Minas, Mestre em Tecnologia Mineral, Coordenador de Controle Operacional, Gerência de Controle Operacional de Processos (GCOP), CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) Congonhas, Minas Gerais e Brasil.*
- <sup>6</sup> *Engenheiro de Minas, Técnico Especialista, Gerência de Controle Operacional de Processos (GCOP), CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) Congonhas, Minas Gerais e Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A redução dos teores de ferro somado as características mineralógicas das jazidas traduzem na necessidade das empresas se desenvolverem tecnicamente e economicamente a fim de viabilizarem a lavra e o beneficiamento de minérios de ferro.

Portanto, torna-se inevitável a necessidade de redução granulométrica inferior a  $150\mu\text{m}$ , o que torna o processo viável tecnicamente por meio concentração. O método comumente empregado para frações abaixo de  $150\mu\text{m}$  é através de concentração por flotação. Estudos têm sido realizados com o objetivo de maximizar a recuperação de Fe e recuperação mássica, isto é, gerar rejeitos com menor teor de ferro com especificações de  $\text{SiO}_2$  concentrado aceitáveis, sem elevar o consumo e custo com reagentes.

Na flotação reversa de minério de ferro o amido de milho é utilizado como depressor de óxidos e hidróxidos de ferro, dando seletividade ao processo de flotação, e ainda é a principal variável que impacta significativamente na recuperação metalúrgica do processo.

Para que o amido de milho seja viável operacionalmente é necessário submeter o amido de milho ao processo de gelatinização, realizado através de soda cáustica, isto ocorre através da absorção de parte do álcalis, da solução diluída de hidróxido de sódio, pelas micelas da suspensão do amido de milho (MOREIRA, 2012).

Alguns fatores são importantes para que a gelatinização ocorra com perfeição e total “cozimento” das partículas de amido. A ação depressora é fortemente reduzida com o aumento fração não gelatinizada do griz de milho na etapa de gelatinização. Ela pode ser explicada pela relação Amido/NaOH (MOREIRA, 2012).

A Figura 1 evidência que o aumento da fração de griz não gelatinizada está relacionada com o aumento da relação griz/NaOH, considerado o mesmo tempo de gelatinização para todos ensaios.



**Figura 1.** Razão de griz / soda em função da fração de griz não gelatinizada (REIS 1987 apud MOREIRA, 2012)

O objetivo do trabalho foi identificar as variáveis tais como concentrações inicial e final da solução de amido e a relação amido/soda que influenciam condições de gelatinização do amido e seus respectivos impactos nos índices de recuperação metalúrgica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Planejamento Experimental

No estudo, conforme apresentado na Tabela 1, avaliou-se o impacto das concentrações inicial e final da solução de amido e a relação amido/soda na gelatinização do amido, através dos resultados obtidos de recuperação metalúrgica. Para isso, foi realizado planejamento fatorial 2 níveis de ensaios de flotação variando concentrações finais e iniciais de amidos de milho e a relação amido/soda, mantendo-se o valor das dosagens de amina 70 g/t e a dosagem de amido em 912 g/t. Os ensaios foram feitos em duplicata a fim de se avaliar a significância estatística da diferença entre os resultados experimentais.

Para estudar o efeito das variáveis foi utilizada a técnica de fatorial fracionário com a finalidade de identificar aqueles fatores ou variáveis principais que tem efeitos de maior relevância, desprezando as interações de maior ordem.

Os fatoriais fracionários têm um uso importante nos experimentos de seleção. Esses experimentos são realizados em estágios iniciais de estudos, quando é provável que muitos dos fatores inicialmente considerados tenham pouco ou nenhum efeito na resposta, proporcionando oportunidade de aprofundar nos fatores identificados como importantes (MONTGOMERY, 2008).

**Tabela 1.** Planejamento Fatorial dos Ensaios de Flotação

RunOrder	StdOrder	Amido-Soda	Concentração Inicial Amido (%)	Concentração final Amido (%)
1	1	3,5	5	4
2	3	3,5	20	1,5
3	2	6	5	1,5
4	4	6	20	4
5	7	3,5	20	1,5
6	6	6	5	1,5
7	8	6	20	4
8	5	3,5	5	4

### 2.2 Materiais e Metodologia

Para realização dos ensaios, coletou-se a amostra da alimentação da planta de flotação da Usina Central da Mina Casa de Pedra. Os reagentes utilizados foram: Gritz de Milho (depressor), Amina 7500, Hidróxido de Sódio para correção do pH e gelatinização do amido. O volume útil da cuba da célula de flotação empregada para realização dos testes foi de 1254 ml, a rotação do impelidor foi mantida em 950 rpm e o tempo de flotação adotado, durante os testes, foi de 150 segundos.

Para gelatinização do amido foram preparadas duas soluções. Inicialmente foi adicionado água até a obtenção da concentração inicial de 5% e 20%. Empregou-se hidróxido de sódio à razão de 3,5 e 6 partes de amido para 1 de NaOH. Finalmente foi acrescentado água até adquirir a concentração final de 1,5% e 4%. A dosagem específica de depressor praticada, em todos os testes, foi mantida em 912 g/t.

A amina foi diluída a 2,5% e fixada a dosagem de 70 g/t.

Para preparar a amostra, o primeiro passo foi homogeneizar todo o seu volume e quarteadas as alíquotas e pesadas até o ajuste de 1000 g. Após a homogeneização, retirou-se uma alíquota para análise granuloquímica e do percentual de sólidos da amostra.

A alíquota foi condicionada primeiramente com amido, previamente preparado, durante 5 minutos. Logo após adicionado a amina, sendo condicionada com a polpa (alíquota) por 1 minuto. Após a etapa de condicionamento, ajustaram-se o percentual de sólidos da polpa em 50% e o valor do pH para o respectivo valor correspondente ao ensaio.

O procedimento foi repetido durante cada ensaio.

### 2.3 Análise Granuloquímica da Amostra Padrão

A Tabela 2 apresenta as características granuloquímicas da amostra utilizada durante os ensaios.

**Tabela 2.** Análise granuloquímica da amostra utilizada nos ensaios de flotação

Abertura µm	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Mn (%)	P (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	PPC (%)
150	41,3	35,4	1,6	0,292	0,051	0,036	0,095	0,108	1,97
106	36,9	44,5	0,8	0,147	0,033	0,021	0,069	0,054	0,97
74	36,7	45,0	0,6	0,114	0,028	0,018	0,059	0,043	0,76
44	40,5	39,8	0,6	0,108	0,027	0,021	0,055	0,047	0,66
38	47,5	29,6	0,5	0,106	0,027	0,021	0,04	0,056	0,62
-38	61,3	9,1	0,8	0,148	0,031	0,021	0,035	0,077	0,77
AQ calc.	48,4	27,8	0,7	0,136	0,03	0,021	0,049	0,062	0,8
AQ anal.	48,3	28,1	0,7	0,139	0,03	0,021	0,053	0,062	0,97

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os gráficos com a análise estatística contendo os resíduos dos resultados referentes aos resultados da Recuperação Metalúrgica.

Assumindo o nível de significância igual a 95%, o “Normal Probability Plot” mostra que o comportamento dos resíduos não violou as premissas para análise de variância.

Os gráficos intitulados “Residual Versus Fits” e “Residual Versus Order” indicam que os pontos (resíduos) não apresentaram nenhum padrão comportamental, neste contexto, pode-se dizer que não houve na execução dos ensaios fatores externos diferentes do procedimento que comprometa os resultados. (MONTGOMERY, 2008).

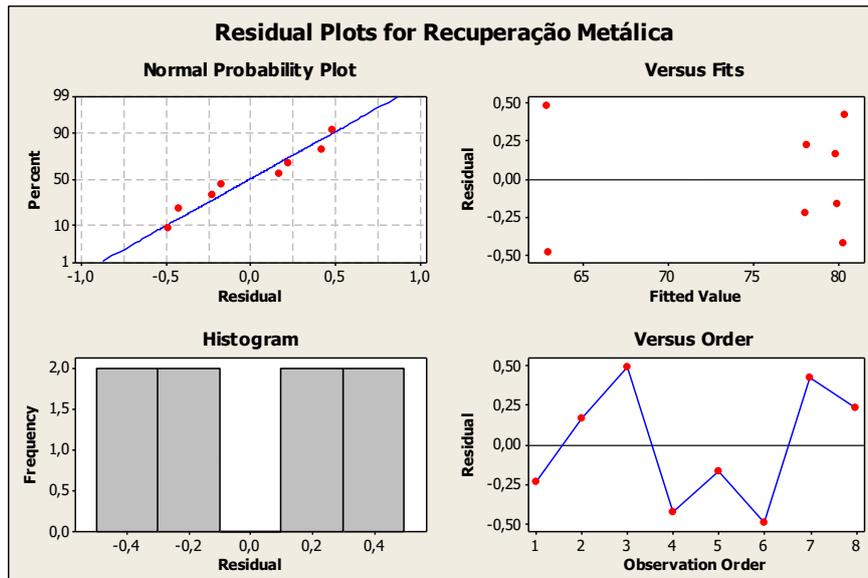


Figura 2. Análise estatística dos resíduos referentes a recuperação metalúrgica

De acordo com a Figura 3, o pareto dos efeitos, pode-se definir a magnitude e a importância de um efeito. Todos os efeitos isolados assim como as interações se estenderam a linha do valor absoluto, foram potencialmente significativos para as variações observadas de recuperação metálica.

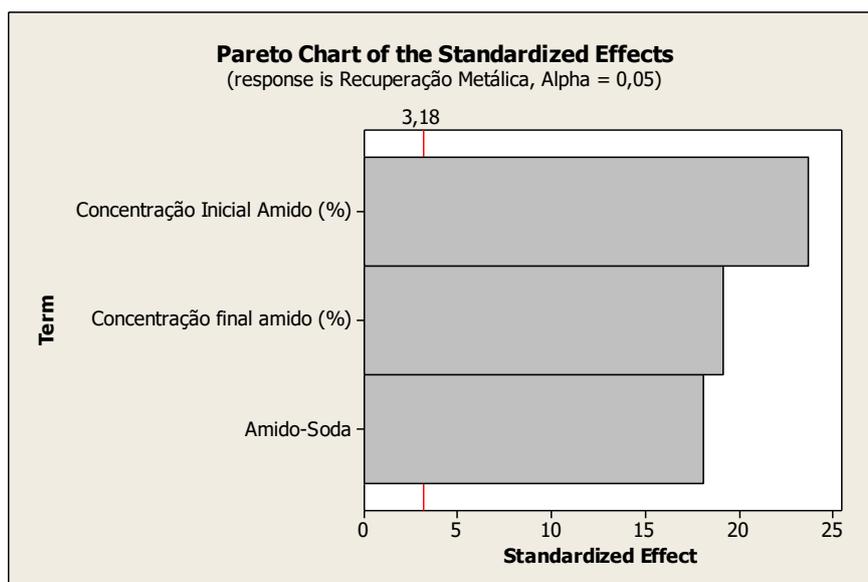


Figura 3. Paretos dos efeitos padronizados

A Figura 4 indica que o aumento da relação amido/soda esteve associado a queda da recuperação metálica. Pode-se dizer também que a elevação dos índices de concentração inicial e final estiveram associados ao aumento da recuperação metálica.

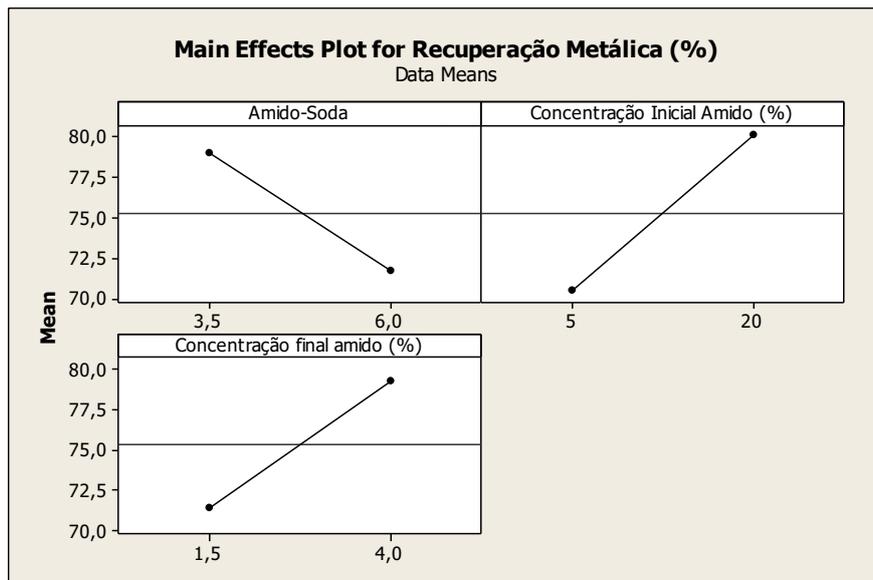


Figura 4. Principais efeitos para recuperação metalúrgica

Conforme a Figura 5, em relação à interação entre os efeitos, é possível observar as condições:

- Com a relação amido/soda em nível baixo (3,5), o efeito da redução da concentração inicial do amido sobre o aumento da recuperação metálica foi menor do que o verificado com o amido/soda em nível alto (6,0);
- Com a relação amido/soda em nível baixo (3,5), o efeito da redução da diluição final foi menor e contrário ao verificado na condição experimental;
- Com a relação amido/soda em nível alto (6,0), associada a concentração final de 4% mostra o aumento da recuperação metálica;
- Com a concentração inicial em nível alto (20%), o valor da recuperação metálica foi praticamente indiferente a concentração final do amido.

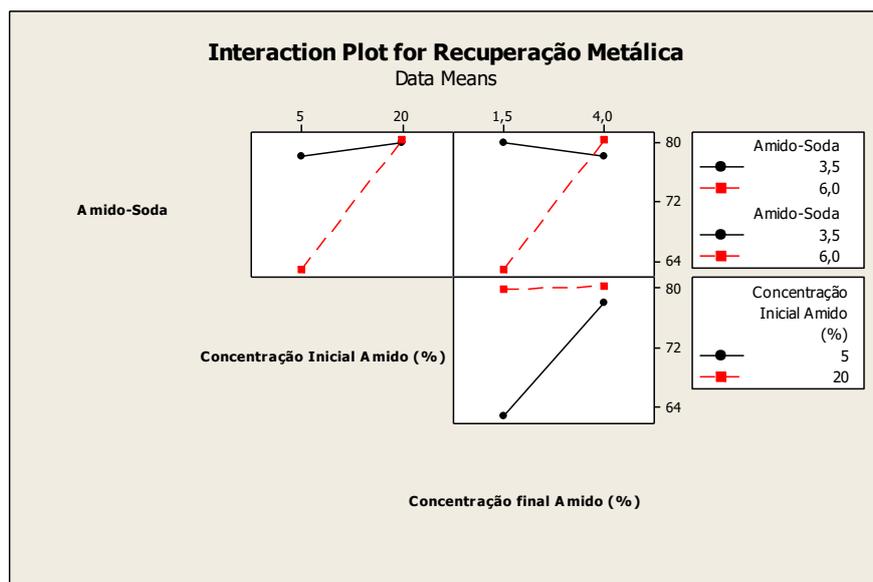


Figura 5. Principais interações para recuperação metalúrgica

## 4 CONCLUSÃO

Considerando os parâmetros usados como avaliativos dos resultados para a flotação do minério de ferro estudado, notou-se que os índices de recuperação metálica obtiveram os seguintes comportamentos quanto aos efeitos isolados:

- Relação Amido/Soda: quando utilizado em nível baixo (3,5) a recuperação metalúrgica obtida foi de 78% e em nível alto (6,0) houve perda metálica de 7%. O que pode ser explicado pela maior adição de soda por massa de amido a ser gelatinizado. Esse fato acelera a reação de hidrólise das moléculas do amido, aumentando a eficiência de sua gelatinização. Dessa forma, aumenta-se a densidade de adsorção do depressor sobre os grãos de óxido de ferro, potencializando a sua ação depressora.
- Concentração inicial do amido: A concentração inicial (20%) obteve recuperação metalúrgica de 80%, apresentando 10% superior a concentração em nível baixo (5%);
- Concentração final do amido: Os resultados de recuperação metalúrgica obtidos com concentração em nível baixo (4%) foram de 78%, sendo 7% superior aos resultados obtidos em nível baixo (1,5%).

Os resultados mostraram que os índices de recuperação metálica foram fortemente influenciados pela concentração inicial da solução de amido.

Com a concentração inicial em nível alto (20%), o índice de recuperação metálica obtido com relação amido/soda igual a 6,0 foi similar ao índice obtido nos experimentos executados com relação amido/soda e concentração inicial em nível baixo.

Em relação a concentração inicial da solução de amido, o aumento da concentração de amido, neste caso, nível alto (20%), ocorre um aumento da concentração dos íons hidroxilas em solução, fato que acelera a reação de hidrólise do amido e, por consequência, potencializa a sua ação depressora, conforme explicitado anteriormente.

Os resultados apresentados indicam que para obter índices de recuperação metalúrgica elevados, as condições em que se obteve a melhor gelatinização do amido foi quando a relação de amido/soda esteve em nível baixo (3,5) e maior concentração inicial do amido em nível alto (20%). Ainda assim, sugere-se a continuidade dos testes para corroborar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- 1 BALTAR, C.A.M. Flotação no tratamento de minérios. 2. ed. Recife: Universitária da UFPE, 2008.
- 2 MONTGOMERY, Douglas C. Applied. Statistics and probability for engineers / Douglas C. Montgomery, George C. Runger. 3th ed. Arizona: John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- 3 MOREIRA, W.R. Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro [tese de mestrado]. Belo Horizonte: UFMG; Jun. 2012.