



# ESTUDO DE MELHORIA DA GELATINIZAÇÃO DO AMIDO DE MILHO - USO DO REAGENTE AUXILIAR SOFTEX 2011 (TENSAC)\*

Adriana Baldessin Costa<sup>1</sup>  
Wellington Ribeiro Moreira<sup>1</sup>  
Michelle Cristina de Paula<sup>1</sup>  
Nayara de Sousa Assis<sup>1</sup>  
Osvaldo de Campos Michelucci<sup>2</sup>

## Resumo

Na etapa de flotação de minérios finos de ferro, usa-se como agente depressor o griz de amido de milho. Tal produto orgânico para ser usado como reagente precisa ser gelatinizado para permitir que os grânulos do amido tenham capacidade de absorver água quando molhados ou expostos à umidade. Este processo pode ocorrer por efeito térmico através de água aquecida ou por um ativador térmico como soda cáustica, sendo o último usado na planta Casa de Pedra. Visando aperfeiçoar a preparação/gelatinização do amido de milho buscaram-se auxiliares químicos para reduzir a presença de grumos suspensos (amidos não gelatinizados), aumentar a eficiência da ação depressora e garantir maiores ganhos de recuperação metalúrgica do metal de interesse. O trabalho contemplou estudos com um agente auxiliar denominado *SOFTEX 2011* da empresa *TENSAC*. Os testes foram feitos em escala de bancada com substituição da massa total de água usada na 1<sup>a</sup> gelatinização do griz de milho (solução com 10% de sólidos) pelo reagente *SOFTEX 2011* nas proporções de 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0%. Os primeiros resultados demonstraram ganhos significativos em recuperação metalúrgica e uma melhor seletividade das espécies minerais. Fisicamente, observou-se boa transparência nas suspensões do griz de amido de milho gelatinizado através de um aspecto como gel.

**Palavras-chave:** Flotação; Depressor; Minério de ferro e gelatinização.

## STUDY TO IMPROVE STARCH CORN GELATINIZATION – USING AN AUXILIARY REAGENT SOFTEX 2011 (TENSAC)

### Abstract

In the flotation of fine iron ores is used as depressant agent of corn starch grits. Such organic product to be used as a flotation reagent needs a gelatinization that allows the starch granules became able to absorb water when exposed to wet. This process can happens by thermal effects with heated water or through an heat activator like caustic soda, the last type is used in the Casa de Pedra plant. In order to improve the preparation / gelatinization of starch several chemical auxiliaries were pursue to reduce the presence of suspended lumps (non - gelatinized starches), increase the efficiency of the depressant action and greater gains in metallurgical recovery. The work included studies with an auxiliary agent called *SOFTEX 2011* made by *TENSAC Company*. The tests were all performed in laboratory scale replacing portions the water that was used in the first gelatinization of the corn grits solution (dilution at 10 % solids) by the reagent *SOFTEX 2011* in proportions of 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5 to 4.0% . The early results showed significant gains in metallurgical recovery and better selectivity of mineral species. Physically, were possible to see a good transparency in the corn starch grits suspensions that were gelatinized like a gel appearance.

**Keywords:** Flotation; Depressant; Iron ore and gelatinization.

<sup>1</sup> Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Unidade Congonhas, Casa de Pedra, MG, Brasil.

<sup>2</sup> TENSAC do Brasil Com. de Prod. Químicos Ltda., Piracicaba, SP, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente em Casa de Pedra, a maior parte dos minérios de ferro extraída é da classe dos minérios itabiríticos. Sendo assim, são minérios que possuem qualidade inferior no que se refere ao teor de ferro (abaixo de 50%) e que necessitam de um beneficiamento mais complexo como moagem em granulometrias mais finas e etapas de concentração para melhor aproveitamento mineral destas frações conforme avaliado em Araújo e Peres [1].

Como em Casa de Pedra não possui moagem, os únicos processos responsáveis em recuperação dos finos de ferro (granulometrias abaixo de 0,150mm) são a deslamagem e o processo de flotação.

A deslamagem é responsável de eliminar as partículas de lamas prejudiciais na flotação. Já a etapa de flotação é responsável pela separação dos minerais através de meio aquoso em presença de bolhas de ar.

Conforme explicado por Neto [2], a flotação usa a hidrofobicidade, ou seja, o grau de afinidade com a água na superfície das partículas minerais para realizar tal separação.

Em sua grande maioria, os minérios de ferro itabiríticos são compostos por minerais de quartzo e hematita. Neste caso, o melhor tratamento mineral é acentuar a hidrofobicidade das partículas contaminantes de quartzo e hidrofobicidade das partículas de hematita [3].

Esta alteração das propriedades interfaciais se faz com o uso de reagentes químicos (depressores e coletores) que se forem corretamente escolhidos e adequados para o tipo de minério promovem uma eficiente separação que permite o atendimento dos requisitos de qualidade (teor do material de interesse no concentrado) e quantidade (recuperações de massa e metalúrgica).

No Brasil, nestes últimos 35 anos tem – se feito uso de amido de milho como principal reagente depressor para reforçar a hidrofobicidade das partículas de hematita evitando que os coletores adsorvam em suas superfícies carregando – os juntamente com as demais partículas não úteis para o rejeito.

O amido de milho é um composto orgânico de alto peso molecular com ramificações longas. As principais proteínas encontradas no amido de milho são a amilopectina (25%) e amilose (75%) – matéria ativa do depressor. Para ocorrer liberação desta matéria ativa é necessário que amido passe por uma preparação conhecida como gelatinização [1]. Tal gelatinização pode ser feita por ação térmica ou por adição de soda cáustica, sendo este último método aplicado industrialmente somente no Brasil [4].

A gelatinização permite que os grânulos de amido tenham capacidade de absorverem água através da destruição da carapaça dos grãos permitindo rompimentos das suas ligações intragranulares e expansão de suas cadeias.

Quando existe a expansão da cadeia do amido ocorre o inchamento dos grânulos (fenômeno de dilatação dos grânulos de amido), tornando-o solúvel conforme mostrado na figura 1 abaixo:

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

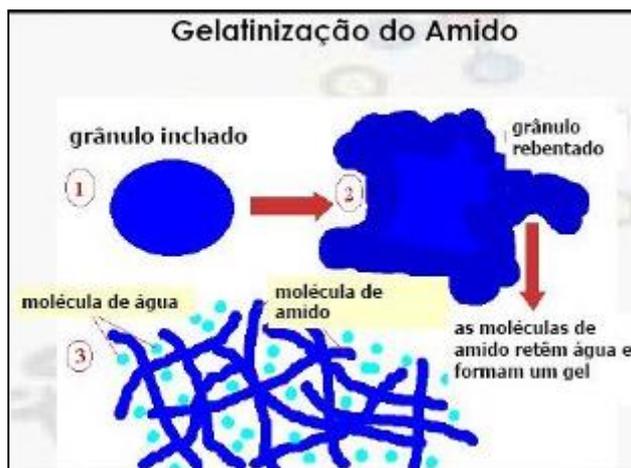


Figura 1: Processo de gelatinização [5].

Desta forma, os grânulos podem atingir a sua máxima hidratação, reduzirem a viscosidade da suspensão até sua estabilização e formarem compostos de fragmentos de grânulos dispersos.

Entretanto, mesmo havendo uma mudança em nível de cadeia ainda existem grânulos que não conseguem se gelatinizar possivelmente devido sua elevada resistência. Fisicamente, é possível observar quando não ocorre uma eficiente gelatinização se há presença de grumos suspensos na preparação de amido gelatinizado [6].

Diversas técnicas no aperfeiçoamento de adsorção do amido têm sido adotadas no campo de flotação. No caso deste estudo proposto é tornar possível um maior número de grânulos com melhor inchamento (maior absorção de água e redução de grumos suspensos), maior grau de solubilidade, transparência e viscosidade da suspensão de amido de milho através do uso de um reagente auxiliar denominado *SOFTEX 2011* [7] da empresa *TENSAC*.

O *SOFTEX 2011* é um reagente derivado de ácidos graxos de sacarose que tem como atuação modificar a reologia de fluidos, redução de viscosidade e aumento do grau de fluidez das suspensões de amido. A suspensão com este reagente produz uma textura lisa como mostrado na figura 2:

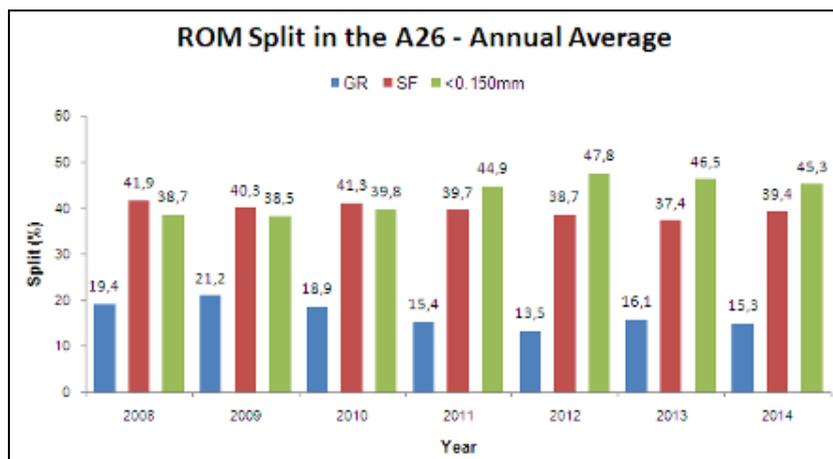


Figura 2: Comportamento qualitativo de uma suspensão de amido

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

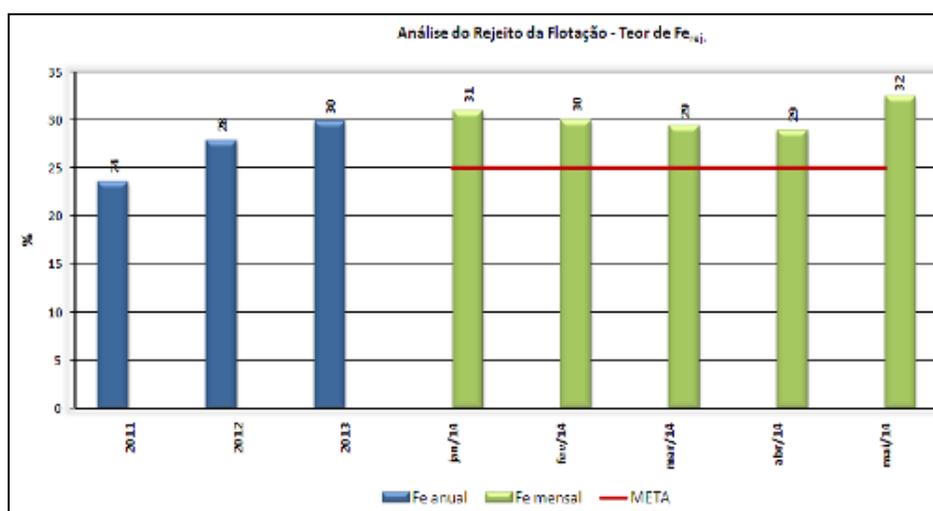
No ano de 2008, apenas 38,7% do split do ROM em Casa de Pedra encontrava-se na fração abaixo de 0,150mm. Em 2014, a fração de finos (abaixo de 0,150mm) possui 45,3% da partição do ROM, ou seja, houve um aumento de aproximadamente 7% da massa de finos. Esse aumento afetou diretamente a deslamagem, conseqüentemente a flotação.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



**Figura 3:** Evolução do *split* (partição) do ROM de Casa de Pedra

Nesta condição, realizaram-se estudos alternativos para verificar a possibilidade de aperfeiçoar a preparação/gelatinização do amido de milho reduzindo a presença de grumos suspensos. Esta otimização pode elevar a o desempenho da função depressora trazendo ganhos significativos na recuperação de minérios finos de ferro no processo de flotação com isso reduzindo a perda de tais minérios para o rejeito industrial de forma a garantir uma eficiente qualidade e produtividade do Pellet Feed e redução do ferro no rejeito da flotação demonstrado na figura 4:



**Figura 4:** Perda de ferro no rejeito no processo

As etapas deste estudo envolveram:

- A) Preparação física do gritz de amido de milho:
  - O gritz de milho foi secado e homogeneizado antes de ser usado nos ensaios.
- B) Condições dos testes de flotação em bancada:
  - Massa seca de alimentação: 1000g;
  - % de sólidos na polpa de alimentação: 50;
  - Tempo de coleta: 150seg;
  - Rotação de ar a 900 rpm;
  - Polpa do teste regulada em pH 10,7 - uso de ácido acético se necessário;
  - Água de adição do teste regulada em pH 11,0 ;
  - Condicionamento do amido foi de 5 minutos e amina de 1 minuto;
  - Replicatas de ensaios.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



### C) Condições dos reagentes da flotação:

#### 1) Depressor orgânico (Gritz de Amido de Milho)

- Reagente secado na estufa a 105°C (redução de umidade) por 10 minutos;
- Gelatinização térmica a 10% com soda a 50%;
- Diluição a 1%;
- Dosagens fixas em 800g/t.

#### 2) Coletor sintético (Amina)

- Diluição a 1,88%;
- Dosagem padrão em 70g/t.

#### 3) Reagente auxiliar (SOFTEX 2011)

- Os testes foram feitos com substituição da massa total de água usada na 1<sup>a</sup> gelatinização do griz de milho (solução com 10% de sólidos) pelo reagente SOFTEX nas proporções de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 e 4%.

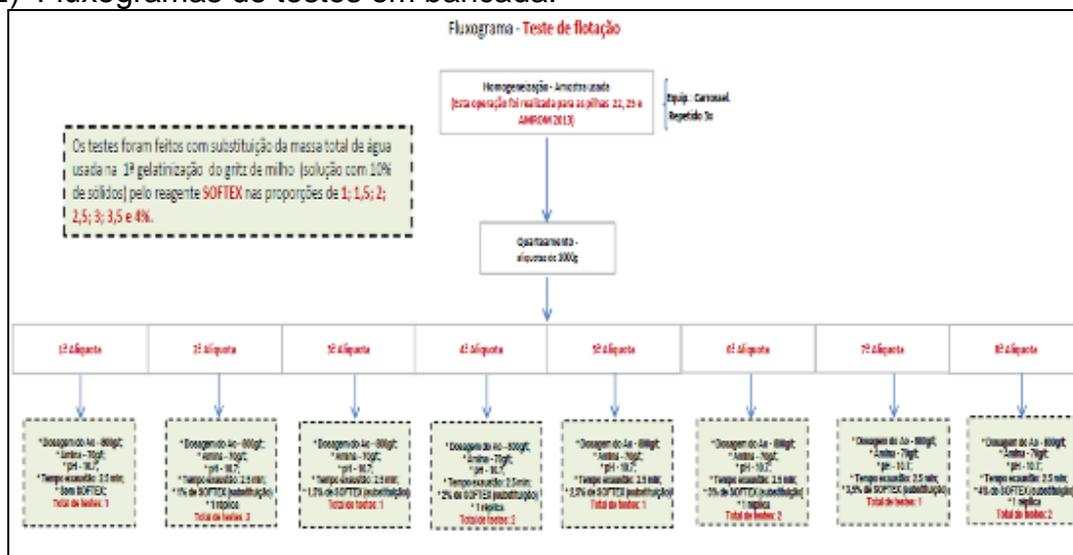
### D) Amostra de minério para os testes:

- Amostra 1: Alimentação da flotação P.22 processada e preparada em laboratório;
- Amostra 2: Alimentação da flotação P.25 processada e preparada em laboratório;
- Amostra 3: Amostra preparada em laboratório da pilha padrão com as características do ROM 2013 - AMROM 2013;
- Amostra 4: Amostra preparada em laboratório da pilha padrão com as características do ROM 2014 - AMROM 2014.

**Tabela 1:** Análise global dos teores de cada amostra

| AMOSTRA    | Química Global |                  |                                |      |      |
|------------|----------------|------------------|--------------------------------|------|------|
|            | Fe             | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P    | Mn   |
|            | %              | %                | %                              | %    | %    |
| Pilha 22   | 44,39          | 35,25            | 0,39                           | 0,02 | 0,26 |
| AMROM 2013 | 48,17          | 30,23            | 0,17                           | 0,01 | 0,17 |
| Pilha 25   | 44,30          | 35,70            | 0,40                           | 0,02 | 0,26 |
| AMROM 2014 | 49,86          | 26,86            | 0,86                           | 0,02 | 0,13 |

### E) Fluxogramas de testes em bancada:



**Figura 5:** Planejamento dos testes de flotação em bancada.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise da Solução de Gelatinização

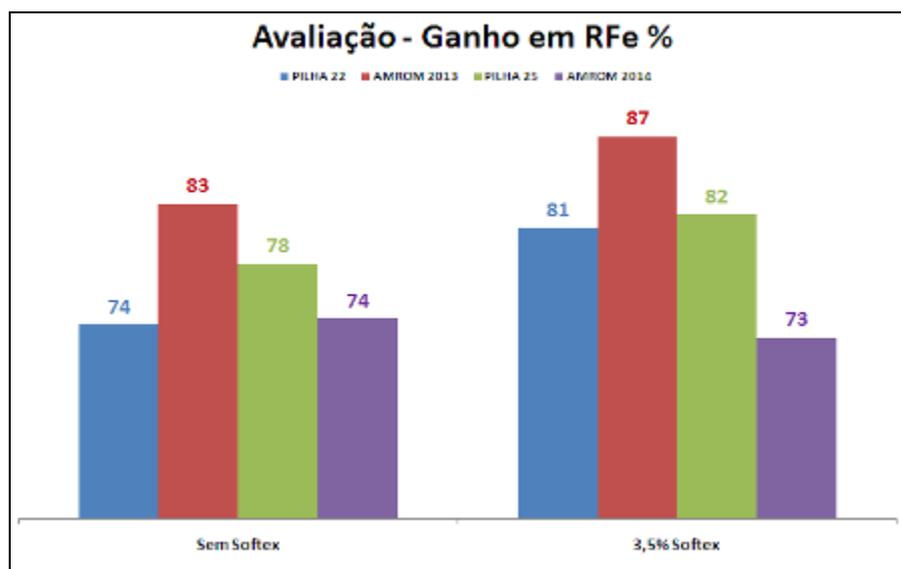
A gelatinização do griz de amido de milho foi diferenciada com a presença de SOFTEX 2011 [7]. À medida que se elevavam os valores de substituição de água pelo reagente, a solução suspensa apresentava-se cada vez mais com baixa presença de grumos (grânulos resistentes e insolúveis), mais clarificada e um aspecto uniforme como gel.



**Figura 6 e 7:** Aspecto das soluções em suspensão do griz de amido gelatinizado e com 3,5% de substituição de água por SOFTEX 2011.

#### 3.2 Análises dos Resultados Laboratoriais

As recuperações metalúrgicas oscilaram em relação ao valor médio de 77,25%. Com o uso do SOFTEX 2011 [7], percebe-se um ganho significativo quando comparado na substituição de 3,5% de água. Este aumento é refletido no ganho de ferro para concentrado permitindo uma redução de perda do metal de interesse no rejeito. Isso demonstra que uma eficiente gelatinização promove uma melhor seletividade das partículas minerais.



**Figura 8:** Valores comparativos com o melhor teste (3,5% SOFTEX 2011)

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

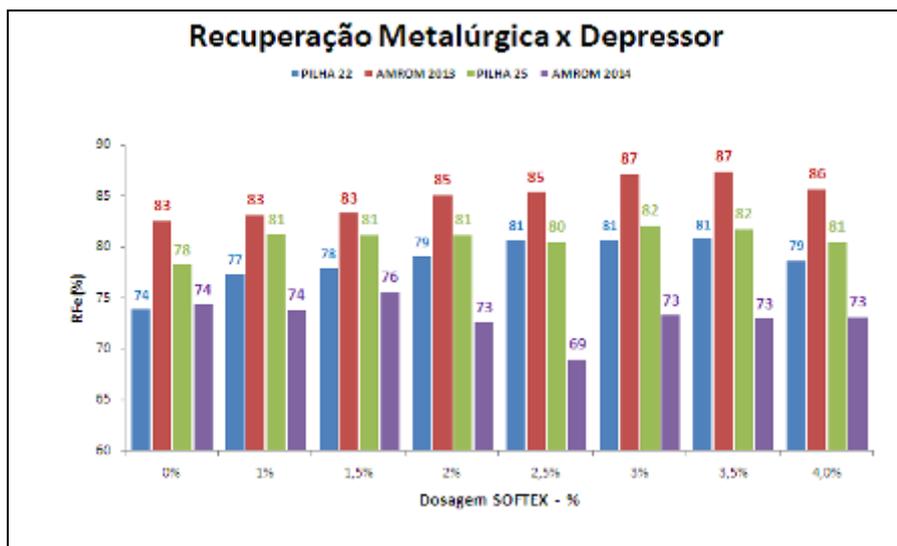


Figura 9: Resultados de R.Metálica (%) de cada teste

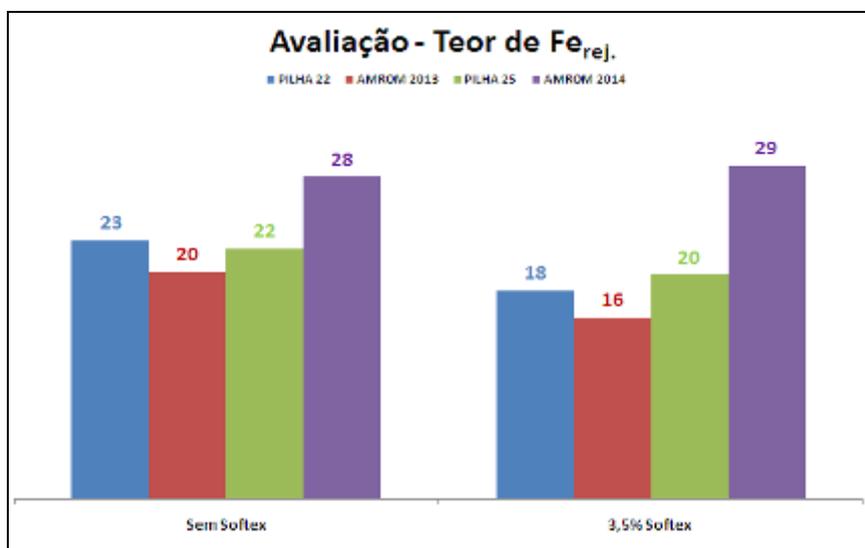


Figura 10: Valores comparativos com o melhor teste (3,5% SOFTEX 2011)

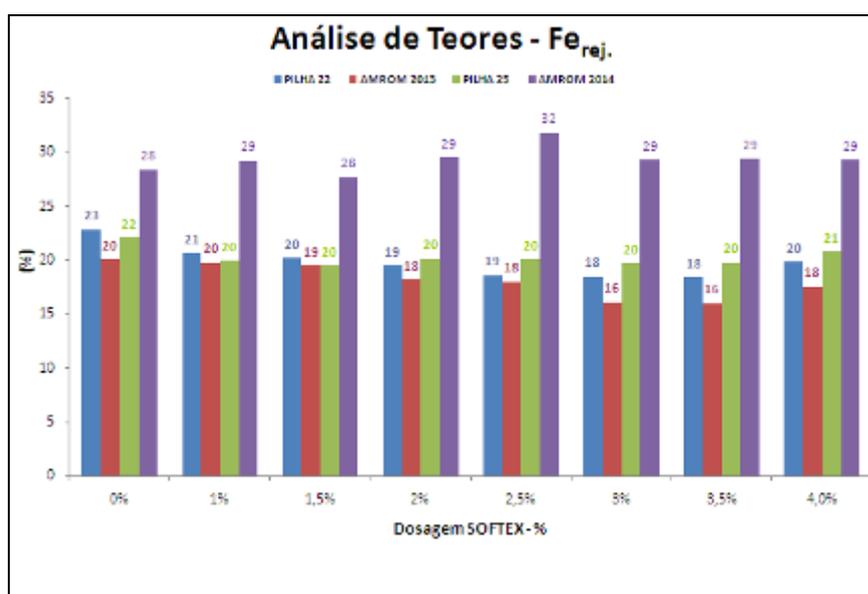
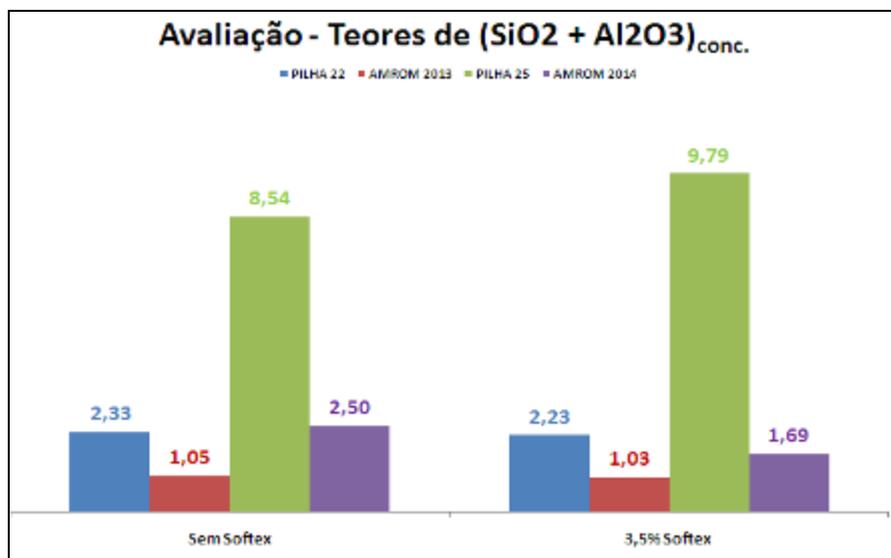


Figura 11: Resultados de Fe no rejeito (%) de cada teste

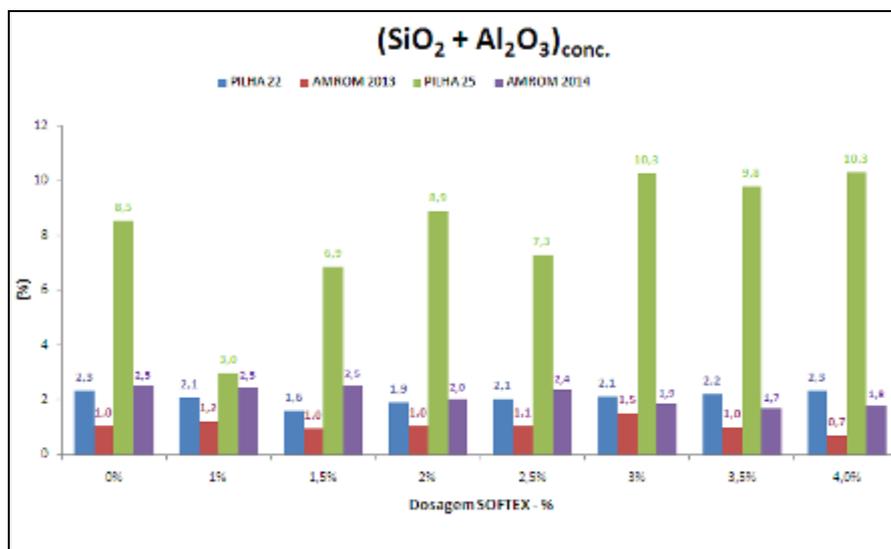
\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Em relação ao atendimento da especificação de qualidade do Pellet Feed, os teores dos principais contaminantes  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  (limite de controle - 2,5%) foram atendidos em quase todas as amostras, exceto a amostra da P.25. Com o uso do reagente auxiliar, constata-se que houve pouca ou nenhuma alteração que pudesse ser considerada importante. Os resultados comprovaram que com o uso deste agente químico não prejudica negativamente a qualidade final do produto.



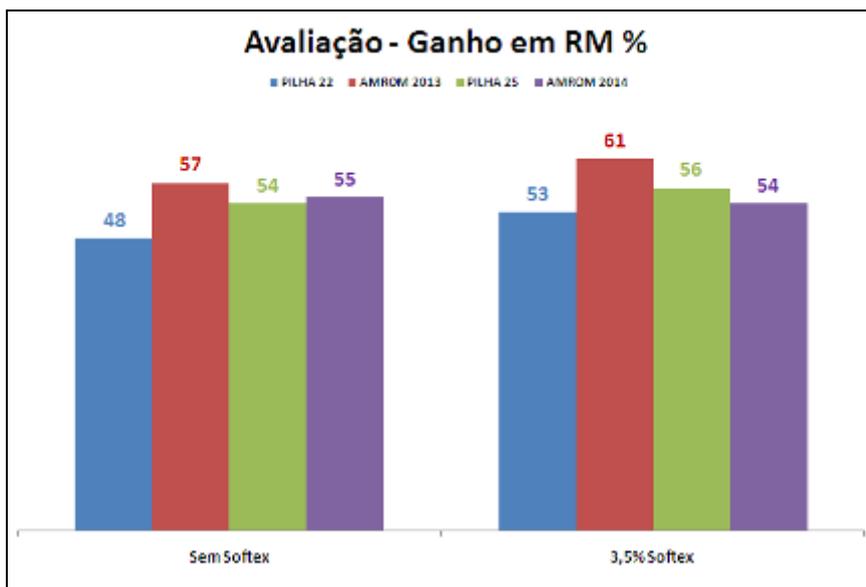
**Figura 12:** Valores comparativos com o melhor teste (3,5% SOFTEX 2011)



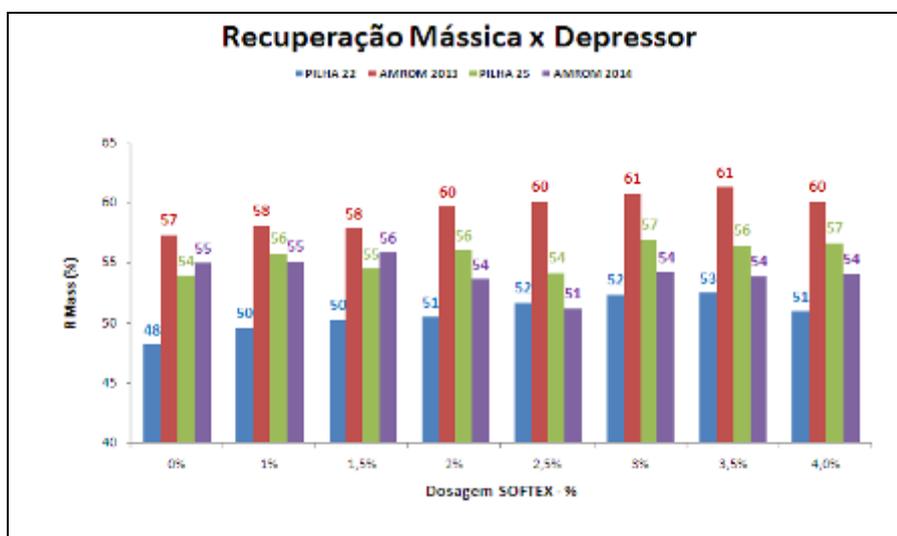
**Figura 13:** Resultados dos teores contaminantes de cada teste

Como observado nos resultados de recuperação metálica e ferro no rejeito, as partículas minerais finas de minério de ferro, partículas que são carregadas pelo arraste hidrodinâmico devido baixa ação depressora de amido gelatinizado, possivelmente conseguiram se manter em mais tempo e em maior volume em suspensão na polpa de flotação e permitindo assim serem eficientemente deprimidas devido maior adsorção do próprio agente depressor.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



**Figura 14:** Valores comparativos com o melhor teste (3,5% SOFTEX 2011)



**Figura 15:** Resultados da R. Mássica (%) de cada teste

## 4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados, verificou-se que a gelatinização do griz de amido de milho quando usado o reagente auxiliar *SOFTEX 2011* é possível visualizar translucidez na suspensão preparada, quase nenhuma presença de grânulos dispersos que tiveram com baixa hidratação. Além disso, a solução ficou com aspecto estável e extremamente uniforme.

Já em relação do desempenho do depressor do griz de amido de milho com o uso de *SOFTEX 2011* destaca-se um reforço no grau de hidrofiliicidade das partículas minerais de ferro através dos ganhos em recuperação metálica, mássica e redução de ferro no rejeito – favorecendo o fator quantidade do concentrado.

No quesito qualidade, o concentrado de flotação não teve impactos prejudiciais para manutenção controlada dos valores dos principais contaminantes.

Como nova forma de validação, faz-se necessário o consumo deste insumo químico na planta industrial para comprovar se os mesmos efeitos atingidos em bancada podem ser refletidos e/ou ainda serem alcançados em patamares mais elevados.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## REFERÊNCIAS

- 1 Araujo AC, Peres AEC. Froth flotation: relevant facts and the Brazilian case, CETEM – Série tecnologia mineral, 1995;
- 2 Neto EF. Apostilha de Flotação, Universidade Federal do Pará: Disciplina de Tecnologia Mineral, Engenharia de Materiais, UFPA, 2012;
- 3 Brandão PRG. A seletividade na flotação reversa de minério de ferro: adsorção dos reagentes. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 21. Natal: O<sub>2</sub> Editora, 2005;
- 4 Araujo AC, Peres AE. C. Froth flotation: relevant facts and the Brazilian case, CETEM – Série tecnologia mineral, 1995
- 5 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. Capítulo 10, p. 397-461.
- 6 Acessado em 02/06/2014: <http://nutrio2009.blogspot.com.br/2009/11/experiencia-com-amido.html>
- 7 Aquino JA, Oliveira MLM, Fernandes MD. Flotação em Coluna. In: Luz AB, Sampaio JA, Monte MBM, Almeida SL. eds., Tratamento de Minérios, 3<sup>a</sup> edição, CETEM, Rio de Janeiro, 2002, p. 409-455;
- 8 MSDS SOFTEX 2011, disponibilizado pela TENSAC do Brasil Com. de Produtos Químicos LTDA.

---

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*