

## INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE MINÉRIOS PARA PRODUÇÃO DE FERRO NÍQUEL E O USO DE ADITIVOS NO PROCESSO ROTARY KILNS – ELECTRIC FURNACES

SOUZA, B.F.<sup>1</sup>, MIRANDA, M.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. brenno.senai@sistemafieg.org.br

<sup>2</sup>Anglo American - Barro Alto. marcelo.miranda@angloamerican.com

### RESUMO

Os minérios empregados no processo de fabricação da liga Ferro-Níquel pela minerado Anglo American são lateríticos e possuem teores de Níquel que variam entre 1,2 a 2,2% e teores de SiO<sub>2</sub>, Fe, Mg e Ca que mudam de acordo com a região e profundidade. Para que o minério seja utilizado sem causar avarias nos equipamentos, é importante que a relação SiO<sub>2</sub>/(MgO + CaO) seja próxima de 1,75 ou mais baixa. Relações mais altas caracterizam minérios mais ácidos e são prejudiciais aos equipamentos. O artigo mostra as variações na composição do material alimentado que afetam a operação da calcinação e redução e afetam os parâmetros de processo da Planta, causando perdas de produtividade, eficiência e disponibilidade de equipamentos, pois a influência destes elementos nunca foi estudada anteriormente. Foram aplicados aditivos como Giz, Gesso, Dolomita, Cal e Calcário para baixar a relação do minério ácido. Estes aditivos possuem o elemento Ca ou Mg que servem para reduzir a relação. A pesquisa da influência das composições, a avaliação do uso de aditivos e o uso do minério básico de Niquelândia para viabilizar o minério ácido de Barro Alto, são trabalhos inovadores que estão sendo realizados em escala piloto e cujos resultados podem ser replicados industrialmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** minério; ácido; aditivos; Anglo American; SENAI.

### ABSTRACT

The ore used in the manufacturing process of the Iron-Nickel alloy by Anglo American are lateritic and have a nickel contents ranging from 1.2 to 2.2% and levels of SiO<sub>2</sub>, Fe, Mg and Ca which change according to mining area and depth. To be used without causing damage to the equipment, it is important that the ore relationship SiO<sub>2</sub> / (MgO + CaO) is close to 1.75 or lower. Higher ratios characterize acid ores and harmful to equipment. The article shows the feed material compositions variations that affect the calcination and reduction operations and process parameters and affect the plant, causing loss of productivity, efficiency and availability of equipment, because the influence of these elements has never been studied before. Were applied additives like chalk, gypsum, dolomite, Lime and Limestone to lower the ratio of this acid ore,. These additives have the element Ca or Mg serving to reduce relationship. The research of the influence of the compositions, the evaluation of the use of additives and the use of Niquelândia basic ore to enable the Barro Alto acid ore, are innovative works and being carried out on a pilot scale, whose results can be industrially replicated.

**KEYWORDS:** ore; acid; additives; Anglo American; SENAI.

## 1. INTRODUÇÃO

A Anglo American está entre as 5 maiores mineradoras do mundo, empregando cerca de 107.000 pessoas. Atua nos negócios Minério de Ferro, Carvão, Diamante, Cobre, Platina, Níquel e Nióbio. O Negócio Níquel é composto por três Operações: 1) Codemin, em Niquelândia, com capacidade produtiva de 10 mil toneladas de Níquel ao ano; 2) Loma de Níquel, na Venezuela, com capacidade de 17 mil toneladas ao ano e 3) Barro Alto, que iniciou sua atividade produtiva em 2011. Com a operação de Barro Alto, a Anglo terá um aumento de 148% na produção de Níquel, tornando-se uma das maiores produtoras mundiais deste metal. A rota empregada é o Ferro Níquel, onde o minério passa pelas etapas mostradas na figura 1.

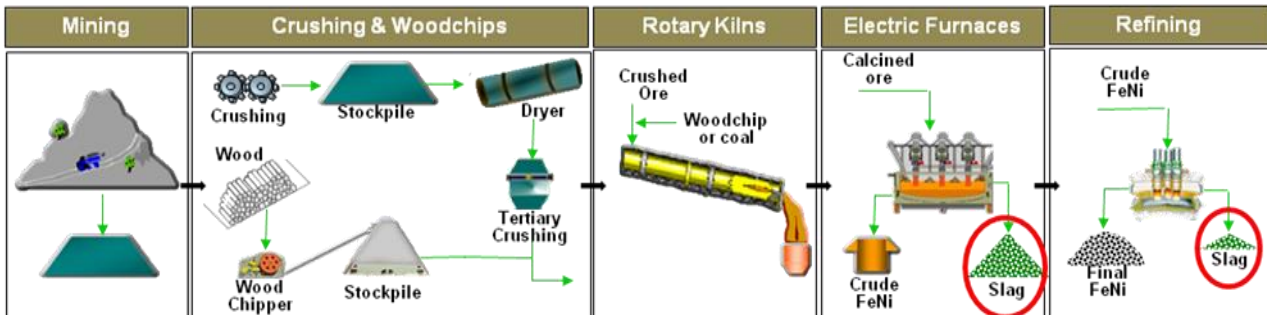
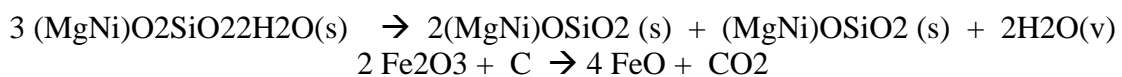


Figura 1. Etapas do processo FeNi na CODEMIN e Barro Alto.

- Preparação de Carga: Britagem do minério em 3 etapas, onde a granulometria é adequada para as etapas de calcinação e redução. O minério não pode entrar no calcinador nem muito fino, nem muito grosso, pois podem ocorrer reações e perdas indesejáveis no processo.

- Calcinação: Ocorre em fornos rotativos. O objetivo é eliminar toda a umidade do minério e realizar reações de pré-redução do ferro contido.



- Redução: após calcinado, o minério a 750° C, é enviado aos fornos de Redução, onde se aplica corrente elétrica através de eletrodos de indução, aquecendo o minério a temperaturas superiores a 1300° C. O uso de redutores como o carvão mineral ou cavaco promovem as reações de redução, havendo uma separação de fases entre o metal formado (Ferro-Níquel, mais pesado) e a escória (composta sobretudo por SiO<sub>2</sub>). Existem pontos de vazamento de metal e escória no equipamento para permitir o ritmo produtivo.

- Refino: O Ferro Níquel produzido na redução possui impurezas como o fósforo e o enxofre e precisa ser purificado com o uso de cal e oxigênio para atender a especificação de venda.

A mina de Barro Alto atende a Codemin e Barro Alto e caracteriza-se por possuir uma diversidade grande de mineiros, tanto em morfologia, quanto em composição. Isto faz com que a jazida apresente características distintas em relação a outras existentes no mundo. Esta grande variedade pode ser vista por minérios com diferentes basicidades. Segundo Cunha (2006), o conceito de basicidade refere-se à relação entre óxidos básicos e óxidos ácidos.

Para que o minério seja utilizado sem causar avarias nos equipamentos, é importante que a relação SiO<sub>2</sub>/(MgO + CaO) seja próxima de 1,75 ou mais baixa. Relações mais altas caracterizam minérios mais ácidos e são prejudiciais aos equipamentos.

A figura 2 mostra que a mina apresenta três tipos de minérios, sendo que o tipo WTO apresenta uma relação de 3,13, impedindo seu uso no processo. Como a quantidade existente é grande, não é viável blendar tal espécie com outras de relação menores.

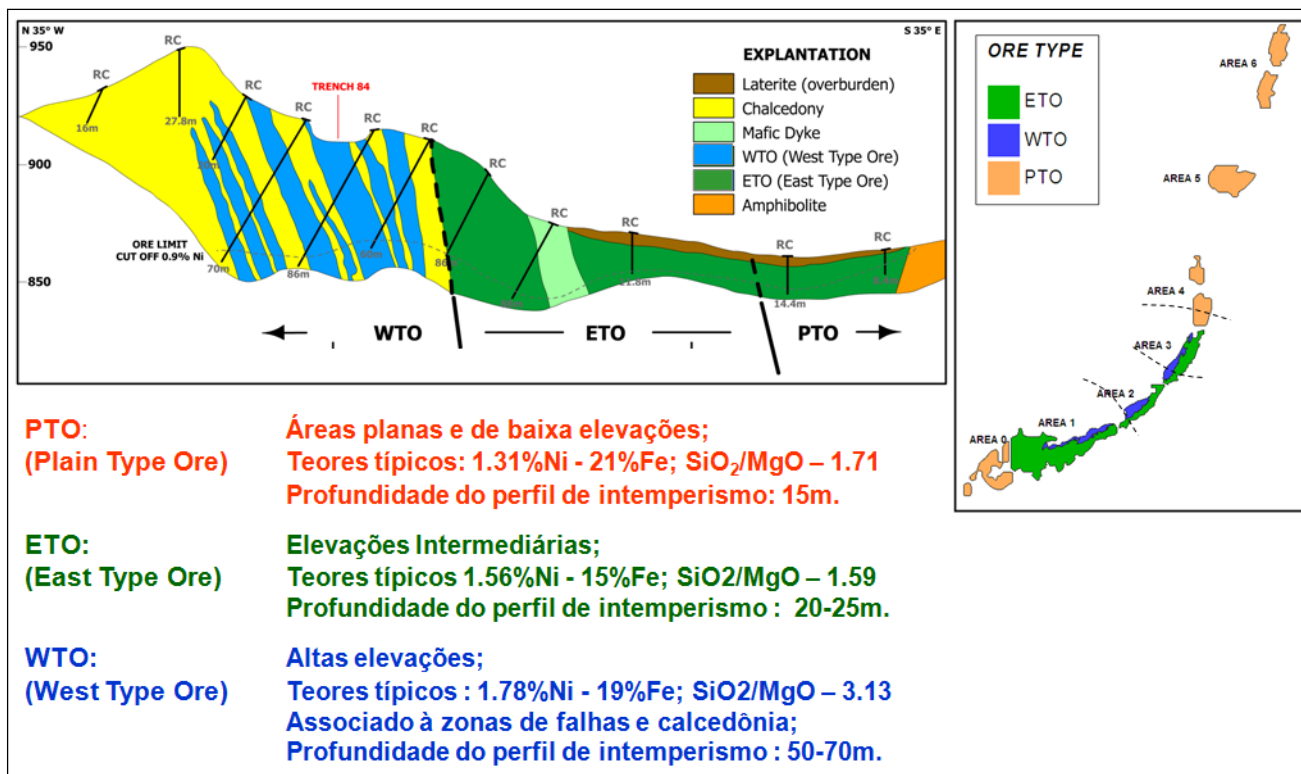


Figura 2. Tipos de minério na mina de Barro Alto.

## 1.1. Objetivo

O objetivo do trabalho foi estudar o uso de aditivos para viabilização de minério ácido em Barro Alto, ajustando a relação SiO<sub>2</sub>/(MgO + CaO).

## 1.2. Metodologia

A metodologia para desenvolvimento do projeto, foi a realização de testes em escala piloto, com equipamentos e parâmetros que fossem representativos do processo industrial utilizado pela empresa Anglo American. Segundo Cooper e Schindler (2003), o teste piloto é o início da fase de coleta de dados do processo de pesquisa, e é conduzido para detectar pontos fracos no planejamento e na instrumentação, além de fornecer dados para seleção de uma amostragem.

Foram realizados 384 horas de testes de calcinação e 56 horas de testes de redução, gerando respectivamente, 367 e 52 amostras, para serem analisadas quimicamente pelo método de Espectrometria por Fluorescência de Raio-X e por Espectrometria Ótica.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A escala piloto exige instalações de médio porte, pois se trabalha com toneladas de minério, obrigando o uso de instalações auxiliares de preparação de cargas, de utilidades e facilidades. (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 1978).

Os testes foram realizados em empresas de consultoria e pesquisa, sendo locados um forno piloto de calcinação da empresa Phoster Tecnologia em Santa Luzia - MG e em um forno de redução à arco no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT em São Paulo - SP.

### 2.1. Calcinação

Os testes pilotos de calcinação demandaram a análise e adequação dos parâmetros do forno piloto que representassem a realidade do forno industrial utilizado em Barro Alto. O forno locado possui 8,0 metros de comprimento e 0,40 metros de diâmetro interno, e o forno industrial em Barro Alto 185,0 e 6,1 metros de comprimento e diâmetro, respectivamente.

Hartke (2007) afirma que o conceito de forno rotativo apresenta uma vantagem operacional muito importante em relação a outros tipos de fornos. Devido à forma de movimentação da carga no seu interior, é possível se processar em fornos rotativos grandes quantidades de carga assegurando que esta tenha em cada seção do forno gradientes de temperatura homogêneos, aumentando assim muito a qualidade do seu processamento térmico.

Pelas características do forno rotativo piloto (comprimento, diâmetro e inclinação), parametrizando-se a velocidade de rotação e a taxa de alimentação, foi estimado um tempo de residência, um ângulo de repouso dinâmico e uma fração de preenchimento da carga próximo ao utilizado no processo industrial. Entre todos estes parâmetros de projeto e operação do forno, operação e material da carga, apenas alguns servem realmente como parâmetros de controle do tempo de residência da carga no interior do forno rotativo: a inclinação horizontal do forno, a sua velocidade de rotação e a vazão de alimentação de carga. (DIP, 2004)

A temperatura de trabalho foi definida em 850 à 950 °C na zona de descarga do calcinador, a alimentação em 0,120 ton/h, a velocidade de rotação em 2,0 rpm, e a atmosfera em condição sub-estequiométrica. O tempo de residência da carga no forno com esses parâmetros foi de 72 minutos.

Os minérios utilizados foram o proveniente da britagem quaternária da planta, já utilizado industrialmente e com relação  $\text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO})$  de aproximadamente 1,7, e um minério ácido proveniente da mina com relação de aproximadamente 6,0 conforme composição química mostrada na tabela I.

**Tabela I. Composição química típica dos minérios utilizados no trabalho.**

| Amostra                | PF    | Ni   | Fe    | SiO <sub>2</sub> | MgO   | CaO  | SiO <sub>2</sub> /<br>MgO+CaO |
|------------------------|-------|------|-------|------------------|-------|------|-------------------------------|
| Minério da Quaternária | 11,08 | 1,83 | 9,60  | 42,33            | 26,01 | 0,27 | 1,61                          |
| Minério Ácido          | 14,90 | 2,16 | 20,60 | 36,16            | 5,93  | 0,31 | 5,79                          |

### 2.2. Aditivos Utilizados

Foram utilizados três aditivos diferentes para o desenvolvimento do trabalho: cal calcítico hidratado, calcário calcítico (menor que 10mm) e cal virgem calcítica.

Utilizando-se a base seca de cada um dos aditivos e a quantidade dos elementos SiO<sub>2</sub>, CaO e MgO disponíveis, foram feitos balanços de massa para definir a quantidade de cada aditivo a ser adicionado na carga antes da alimentação no calcinador, com exceção da cal virgem que foi empregada diretamente na redução. Foram utilizadas a relação cal hidratado/minério de 0,18 e calcário/minério de 0,34. Na redução, empregando-se minério ácido calcinado, foi utilizada a relação cal virgem/minério de 0,16.

### **2.3. Redução**

Os ensaios de redução foram realizados em forno à arco voltaico de 30kVA com soleira condutora, alimentando-se material calcinado proveniente dos testes de calcinação em Santa Luzia - MG. O material era alimentado continuamente, formando-se um banho metálico de metal e escória.

Para Cândido (2008), o forno elétrico a arco é uma câmara fechada, com eletrodos de grafite alimentados por uma fonte elétrica, que provocam curtos-circuitos, concentrando energia suficiente para fundir uma carga metálica, ou reduzir uma carga oxidada, na presença de um agente redutor.

O forno era pré-aquecido com carvão, e após alcançar temperaturas acima de 1200 °C, era alimentado o minério, ajustando-se o forno para trabalhar na menor relação de tensão (20 V), numa faixa de corrente no eletrodo entre 700 e 900 A. A temperatura do banho nessa condição variou entre 1550 e 1650 °C, temperatura adequada para garantir a fluidez da escória no vazamento. No carregamento onde se utilizou a cal virgem como aditivo, a faixa de corrente no eletrodo foi reduzida para 500 à 700 A, mantendo-se a temperatura no banho entre 1450 e 1500 °C.

Para as amostras em geral, foi seguida a seguinte sequência de processamento: Carregamento contínuo até a formação de banho na altura da bica de vazamento; vazamento de escória; carregamento de minério; vazamento de escória; carregamento de minério e vazamento de escória e metal. Na amostra onde se utilizou cal virgem, a mesma era adicionada durante a formação do banho, na fração citada de 16% da carga de minério alimentado.

A carga líquida, composta por metal e escória foi vazada em lingoteiras (figura 3). Eram vazadas cerca de 70% da carga fundida, composta tipicamente por escória, e após dois vazamentos consecutivos, era vazada toda carga fundida, composta de uma quantidade significativa de FeNi.



**Figura 3. Vazamento de carga líquida na lingoteira.**



Segundo Raposo (2005), a separação da escória e do metal é feita por diferença de densidade, uma vez que o metal líquido é mais denso, a escória flutua em cima do banho metálico. Logo, após a desmoldagem da carga vazada na lingoteira, a liga FeNi era encontrada na parte inferior do lingote, sendo o restante escória, conforme mostrado na figura 4.



Figura 4. Placa de FeNi encontrada em meio a escória após a desmoldagem da lingoteira.

### 3. RESULTADOS

Após o processamento das amostras em plantas pilotos de redução e calcinação, foram geradas amostras de minério calcinado e de escória e metal proveniente do forno de redução, obtendo-se os seguintes resultados para o minério calcinado.

Tabela II. Composição química típica das amostras calcinadas.

| Amostra                             | PF   | Ni   | Fe    | SiO <sub>2</sub> | MgO   | CaO   | SiO <sub>2</sub> /<br>MgO+CaO |
|-------------------------------------|------|------|-------|------------------|-------|-------|-------------------------------|
| Minério da Quaternária Calcinado    | 0,00 | 2,14 | 13,03 | 44,97            | 24,97 | 0,44  | 1,77                          |
| Minério Ácido + Cal Calcinados      | 1,27 | 2,22 | 19,66 | 40,41            | 5,25  | 7,65  | 3,21                          |
| Minério Ácido + Calcário Calcinados | 7,25 | 1,65 | 16,73 | 33,67            | 4,98  | 15,08 | 1,75                          |

Os resultados mostram a característica típica desejada para o minério calcinado na empresa Anglo American, com relação de aproximadamente 1,7 e perda ao fogo (PF) de 0,00 para o minério identificado como "Minério da Quaternária".

As amostras que utilizaram cal hidratado apresentaram perda ao fogo diferente de 0,00 devido a reidratação da cal após a descarga do calcinador. A correção de basicidade também não foi suficiente, devido a grande perda de cal na forma de pó, aspirado pelo sistema de exaustão do calcinador já na alimentação da carga.

As amostras que utilizaram calcário, apresentaram um resultado de perda ao fogo elevado. Soares (2007) afirma que o calcário se decompõem em óxido de cálcio e dióxido de carbono através de um reação endotérmica, demandando uma grande quantidade de calor para a completa formação do CaO. Devido ao consumo do calor fornecido pelo forno para a calcinação do calcário e formação de

cal virgem, não houve uma completa eliminação da água estrutural presente no minério, além da reidratação do cal virgem produzido após a descarga do minério. Porém pela granulometria utilizada, não houve perdas na forma de pó, sendo o aditivo suficiente para reduzir a relação  $SiO_2/(MgO+CaO)$  para o valor esperado de 1,75.

No forno de redução, foram observados que as amostras de minério com cal e calcário, geraram muitos gases, devido ao elevado valor encontrado para a perda ao fogo, formando uma espuma de escória que se solidificava rapidamente e por vezes travava o eletrodo, impossibilitando o mesmo de se aproximar da carga e abrir o arco voltaico.

A amostra com o uso de cal virgem aplicado diretamente no forno de redução foi processado sem nenhuma dificuldade técnica de processo, promovida por possíveis geração de gases ou dificuldades de vazamento.

**Tabela III. Composição química do metal produzido com o uso de cal virgem.**

| Amostra                            | C    | Ni    | Fe    |
|------------------------------------|------|-------|-------|
| Metal (Minério Ácido + Cal Virgem) | 2,17 | 14,21 | 76,27 |

O resultado para a escória produzida por essa mesma amostra foi satisfatório no sentido de que houve a correção da basicidade pelo uso do aditivo, conforme o esperado. A tabela IV mostra os valores da análise química para a escória dos 3 primeiros vazamento da amostra supracitada.

**Tabela IV. Composição química da escória produzida com o uso de cal virgem.**

| AMOSTRA              | Ni   | Fe   | SiO <sub>2</sub> | MgO  | CaO   | SiO <sub>2</sub> /<br>MgO+CaO |
|----------------------|------|------|------------------|------|-------|-------------------------------|
| ESCÓRIA 1º VAZAMENTO | 0,11 | 6,52 | 56,12            | 8,30 | 25,13 | 1,68                          |
| ESCÓRIA 2º VAZAMENTO | 0,31 | 6,83 | 50,62            | 6,25 | 24,71 | 1,63                          |
| ESCÓRIA 3º VAZAMENTO | 0,19 | 5,93 | 55,43            | 7,18 | 27,13 | 1,61                          |

#### 4. CONSIDERAÇÕES

O uso de aditivos para a correção de minérios com alta relação  $SiO_2/(MgO+CaO)$  é viável tecnicamente através da aplicação de cal virgem no processo de redução em fornos à arco. A aplicação desse elemento mostrou-se eficaz na correção da basicidade sem prejudicar o processo de calcinação e redução, produzindo escórias fluidas com teores de  $SiO_2$ , MgO e CaO condizentes com o esperado para utilização nos fornos industriais da Anglo American.

A utilização de outros elementos com altos teores de CaO aplicados no processo de produção do FeNi como o calcário e a cal hidratada mostraram-se inviáveis por apresentarem dificuldades técnicas inerente ao processo utilizado, como a perda da cal na forma de pó durante a calcinação e a elevada geração de gases durante a fusão redutora para as duas amostras, efeito esse indesejável no processo industrial devido à projeção de escória contra o refratário do forno e geração de instabilidade no arco.

## 5. REFERÊNCIAS

CANDIDO, M. R. Aplicação da transformada wavelet na análise da qualidade de energia em fornos elétricos a arco. São Paulo: USP, 2008.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. Métodos de Pesquisa em Administração. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

CUNHA, A. F. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos [manuscrito]. Ouro Preto: UFOP, 2006.

DIP, T.M. Otimização de condições operacionais de processo visando a minimização da emissão de material particulado na incineração industrial de resíduos perigosos. São Carlos: USP, 2004.

HARTKE, R. F. Modelagem e simulação térmica de um forno rotativo para a produção de agregado de argila calcinada. Florianópolis: UFSC, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO. Painéis e Sinopses dos Trabalhos Técnicos. Rio de Janeiro: IBP, 1978.

RAPOSO, C. O. L. Estudo experimental de compactação e expansão de uma escória de aciaria LD para uso em pavimentação. Vitória: UFES, 2005.

SOARES, B. D. Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário : caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2007.