

VALOR DE USO DE CARGAS MINERAIS DOS MINÉRIOS DE MANGANÊS DA VALE NO MERCADO CHINÊS*

Nelson Jannotti Júnior¹
Wagner Pires Dias²

Resumo

As relações químicas dos minérios de manganês: Mn/Fe, Mn/SiO₂, Mn/Al₂O₃, Mn/CaO, Mn/MgO, Mn/P e teor de umidade são parâmetros que impactam diretamente na performance operacional do forno, no custo produção e na captura do Valor em Uso de cada minério individualmente. O objetivo deste trabalho é capturar maior valor na comercialização dos minérios de manganês da Vale - Azul e Urucum - no mercado Chinês. O estudo consiste na formação de um minério virtualmente único de tal forma que suas características químicas e físicas sejam melhores que as características daqueles minérios vistos individualmente. A ferramenta de análise empregada é a aplicação de um modelo termodinâmico do forno elétrico de redução. Os minérios Azul e Urucum foram combinados em cinco misturas minerais virtuais em diferentes proporções e comparados com suas formas individuais. O consumo em conjunto dos minérios Urucum e Azul na proporção 50%/50%, apresenta um melhor valor de mercado que a comercialização de cada minério individualmente.

Palavras-chave: Minério de Manganês; Ligas de Manganês; Carga Mineral; Simulação

VALUE IN USE OF MINERALS CHARGES OF THE VALE MANGANESE ORES IN THE CHINESE MARKET

Abstract

The chemical relationships of manganese ores: Mn/SiO₂, Mn/Al₂O₃, Mn/CaO, Mn/MgO, Mn/P and moisture content are parameters that directly affect the furnace's operational performance, cost of production and in the capture of the Value in Use of each ore individually. The objective of this work is to capture additional value in the sales of Vale's manganese ores - Azul and Urucum - in the Chinese market. The study consists of the formation of a virtually unique ore in such a way that its chemical and physical characteristics are better than the characteristics of those minerals seen individually. The analysis tool used is the application of a thermodynamic model of the electric reduction furnace. Azul and Urucum ores were combined in five virtual mineral blends in different proportions and compared to their individual forms. The joint consumption of Urucum and Azul ores in a 50% / 50% blend presents a higher market value than the marketing of each individual ore.

Keywords: Manganese Ores; Manganese Alloys; Minerals Charges; Simulation.

¹ Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Especialista, Gerência Executiva de Manganês, Vale Manganês, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Processos, Gerência Executiva de Manganês, Vale Manganês, Barbacena, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A viabilidade técnica e econômica da produção de ligas de manganês em fornos elétricos de redução é baseada nas características intrínsecas da carga mineral empregada nos fornos. Estas características são formadas pelas composições químicas, físicas e resistividade elétrica dos diferentes minérios de manganês que, por sua vez, impactam na produtividade e no custo de produção.

A resistividade elétrica é um parâmetro que determina a tendência que uma determinada carga exerce para aumentar ou diminuir a distância entre a ponta do eletrodo e a soleira do forno, isto para um determinado comprimento de eletrodo e uma determinada relação entre a tensão e corrente elétrica de trabalho. Quanto menor a distância entre a ponta do eletrodo e a soleira do forno, melhor o rendimento térmico do forno, ou seja, menores as perdas de calor para os gases de saída.

No tocante às características químicas, cujo tema será o objeto deste trabalho, o correto balanceamento das quantidades em massa dos minérios empregados na carga do forno, determinará maior produtividade (t/h), menor consumo específico de energia (KWh/t) e menor custo de produção das ligas de manganês.

As relações químicas do minério: Mn/Fe, Mn/SiO₂, Mn/Al₂O₃, Mn/CaO, Mn/MgO, Mn/P, teor de umidade e análise de outros elementos como teor de álcalis e metais pesados (tais como mercúrio, arsênio entre outros), são parâmetros que impactam diretamente na performance operacional do forno, no custo produção e na captura do Valor em Uso de cada minério individualmente, bem como nos impactos no meio ambiente. Quando se compõem uma carga, com o emprego de diferentes minérios de manganês, aquelas relações devem ser combinadas e equilibradas convenientemente de forma a obter a melhor eficiência de produção.

Quando se analisa o minério de forma isolada em comparação a outros minérios e/ou a um minério de referência (benchmark), as suas relações químicas determinarão o nível de preço a ele atribuído, devido aos impactos positivos ou negativos provocados na performance de produção do forno. Deste modo, as relações químicas dos minérios podem ser classificadas como Fatores de Competitividade dos minérios de manganês.

A Figura 1 apresenta alguns minérios transoceânicos, comumente comercializados no mercado internacional, classificados quanto aos seus respectivos Fatores de Competitividade. Observa-se que, estes minérios apresentam pontos positivos e negativos, de tal forma que, não há um minério único que atenda com exatidão a todos os requisitos processo para produção das mais diferentes especificações técnicas de ligas de manganês.

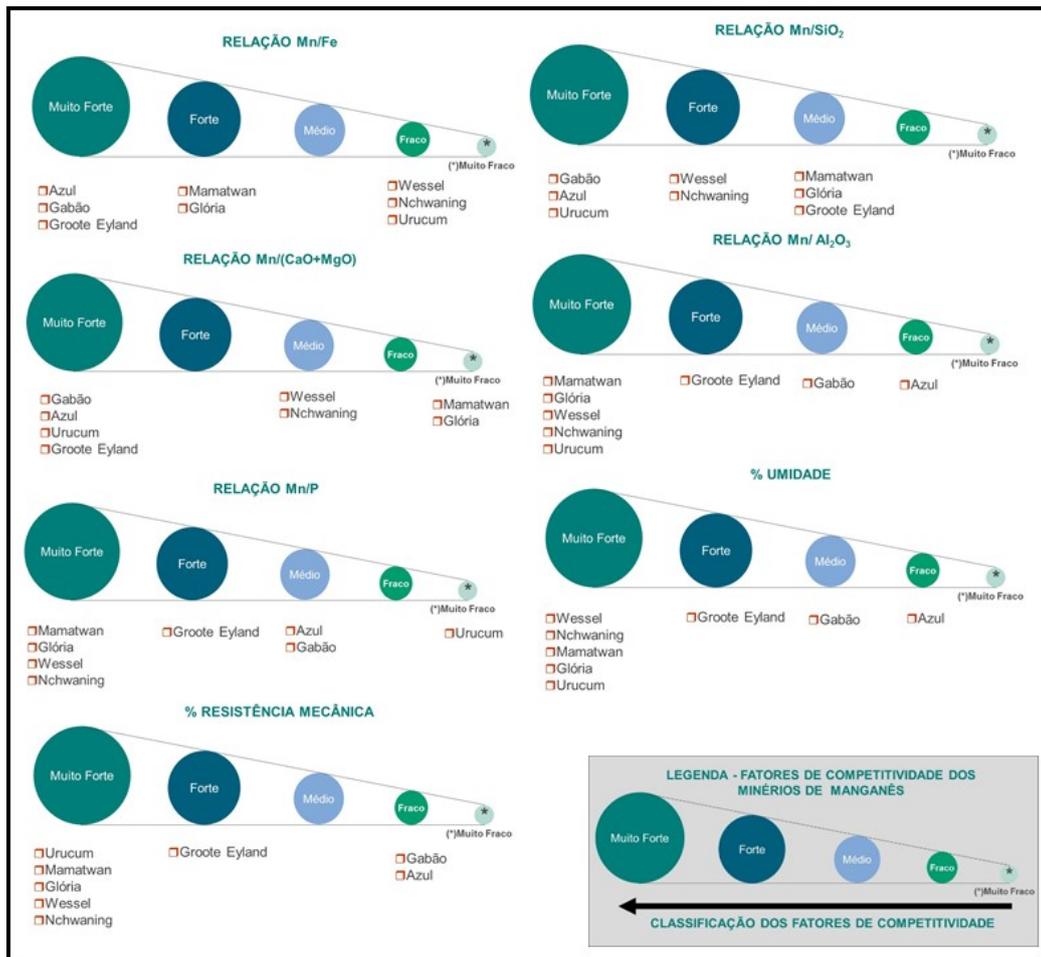


Figura 1. Classificação dos principais minérios de manganês transoceânicos quanto aos Fatores de Competitividade ligados ao processo de produção de ligas de manganês.

No entanto, os respectivos Fatores de Competitividade devem ser equilibrados na carga do forno final, para uma determinada proporção em massa entre os minérios, de tal forma que, os parâmetros de processo são atendidos para a produção de ligas de manganês. Quanto maior o círculo representado na Figura 1, maior é a competitividade do parâmetro químico do minério.

O objetivo deste trabalho é capturar maior valor na comercialização dos minérios de manganês da Vale - Azul e Urucum - no mercado Chinês. O estudo consiste na formação de um minério virtualmente único de tal forma que suas características químicas e físicas sejam melhores que as características daqueles minérios visto individualmente.

Assim sendo, o resultado é o alcance de maior valor agregado na venda em conjunto daqueles minérios e uma melhor performance operacional nos fornos de redução dos clientes, mitigando aqueles Fatores de Competitividade com eventual aspecto negativo no processo produtivo. Ressalta-se que, não se trata de uma mistura física; mas, virtual em uma determinada proporção dos minérios entre si, que

se traduza em maior valor agregado, seja econômico e operacional, levando em conta seus Fatores de Competividade.

Os minérios de manganês Azul e Urucum são produzidos, respectivamente, pelas minas do Azul, localizado em Carajás-PA, com aproximadamente 33 anos de atividade e pela Mineração MCR, localizada no Mato Grosso do Sul com mais de 40 anos de operação. Estas minas de manganês, conforme apresentadas na figura 2, apresentam grande destaque de produção de minério de manganês de qualidade no mercado brasileiro e internacional.

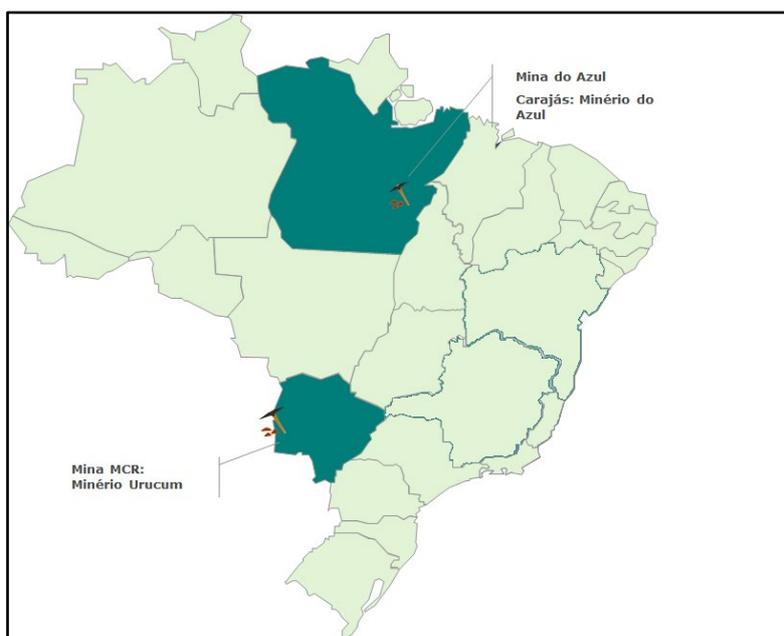


Figura 2. Localização geográfica das minas do Azul e MCR produtoras dos minérios Azul e Urucum.

A ferramenta de análise empregada para avaliação da performance de uma determinada carga mineral é a aplicação de um balanço de massa e balanço térmico, ou seja, um modelo termodinâmico, que represente a operação do forno elétrico de redução. Neste caso, os dados de entrada no modelo termodinâmico são em linhas gerais: as composições químicas dos minérios, a composição e o preço da liga de manganês a ser produzida, as condições de contorno de processo que garantam a operação do forno, e os preços de cada insumo e minério utilizados. Os principais dados de saída do modelo são: a composição da carga (kg/t), volume de escória gerado (kg/t), produtividade (t/h), consumo específico de energia (kWh/t) e margem de contribuição específica (R\$/kWh). Este último, será discutido detalhadamente no capítulo Desenvolvimento.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os minérios da Vale – Azul e Urucum – foram combinados em cinco produtos minerais virtuais conforme as seguintes composições em massa abaixo.

- 100%Urucum

- 20%Azul+80%Urucum
- 40%Azul+60%Urucum
- 50%Azul+50%Urucum
- 60%Azul+40%Urucum
- 80%Azul+20%Urucum
- 100%Azul

A Tabela 1 apresenta as qualidades químicas típicas dos minérios Azul e Urucum isoladamente, como também as qualidades daqueles cinco produtos virtuais, após a mistura nas proporções em massa citadas anteriormente.

Tabela 1. Qualidade química das misturas virtuais formados pelos minérios Azul e Urucum em diferentes proporções.

Minérios de Manganês	%Mn	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%P	H ₂ O%	K ₂ O%	Na ₂ O%
100% Urucum	43,00	12,00	5,38	2,00	0,00	0,00	0,18	3,00	1,79	0,00
20% Azul + 80% Urucum	42,57	10,50	6,04	3,54	0,04	0,04	0,16	5,46	1,79	0,01
40% Azul + 60% Urucum	42,14	8,99	6,71	5,09	0,08	0,08	0,15	7,92	1,79	0,02
50% Azul + 50% Urucum	41,93	8,24	7,04	5,86	0,10	0,10	0,14	9,15	1,79	0,03
60% Azul + 40% Urucum	41,71	7,49	7,37	6,63	0,12	0,12	0,13	10,38	1,79	0,04
80% Azul + 20% Urucum	41,28	5,98	8,04	8,18	0,16	0,16	0,11	12,84	1,79	0,05
100% Azul	40,85	4,48	8,70	9,72	0,20	0,20	0,093	15,30	1,79	0,06

O modelo termoquímico é uma ferramenta de otimização e simulação do desempenho operacional de um forno elétrico de redução para a produção de ligas de manganês. Os princípios que regem aquele modelo consistem no cálculo do balanço de massa e balanço térmico conforme a primeira lei da termodinâmica.

O balanço de massa é calculado por sistemas de equações nos quais as massas dos constituintes químicos (%Mn, %Fe, %SiO₂, %CaO, % Al₂O₃, %MgO, %P, %umidade e etc.) que são aportados via minério, fundentes e redutores, permanecem constantes no final do processo, na forma de escória, liga, gases e volatilização.

O balanço térmico é calculado com base nas “entalpias de aquecimento” das massas dos constituintes químicos, na energia elétrica fornecida ao forno, nas perdas térmicas e nas “entalpias de reação” das principais reações químicas que ocorrem no processo de produção de ligas de manganês. As reações químicas

empregadas no modelo são aquelas amplamente publicadas nas literaturas técnicas.

O modelo termoquímico foi desenvolvido e programado em Visual Basic no software Excel com um otimizador associado à planilha cuja “função objetivo” é obter os resultados com o menor custo de produção. O banco de dados do modelo termoquímico é composto por informações de diferentes naturezas pertinentes ao processo produtivo. Entretanto, resumidamente são definidos os parâmetros de processo para a produção de uma determinada liga (FeSiMn ou FeMnAC) e as composições químicas dos minérios, fundentes e redutores. Para cada 01 (uma) tonelada de liga produzida, os principais resultados calculados são:

- Massa específica dos minérios, redutores e fundentes (Kg/t)
- Produtividade (t/h)
- Consumo específico de energia (KWh/t)
- Volume de escória gerada (Kg/t)
- Composição química da escória (%)
- Consumo específico de coque e carbono fixo (kg/t)
- Volume do gás de topo (CO/CO₂) e Vapor de água (Nm³/t)
- Custo variável da carga mineral e Margem de contribuição (US\$/t)
- Margem de contribuição específica por consumo de energia (US\$/MWh)

O modelamento do forno elétrico não considera as características físicas, granulométricas e elétricas das cargas minerais que influenciam no processo produtivo. Entretanto, na elaboração do leito de fusão, são estabelecidos faixas de valores de indicadores processo que visam, em parte, mitigar as propriedades das cargas supramencionadas. A Figura 3 apresenta uma visão geral dos dados de entrada e dados de saída de um modelo termoquímico empregado na produção de ligas manganês.

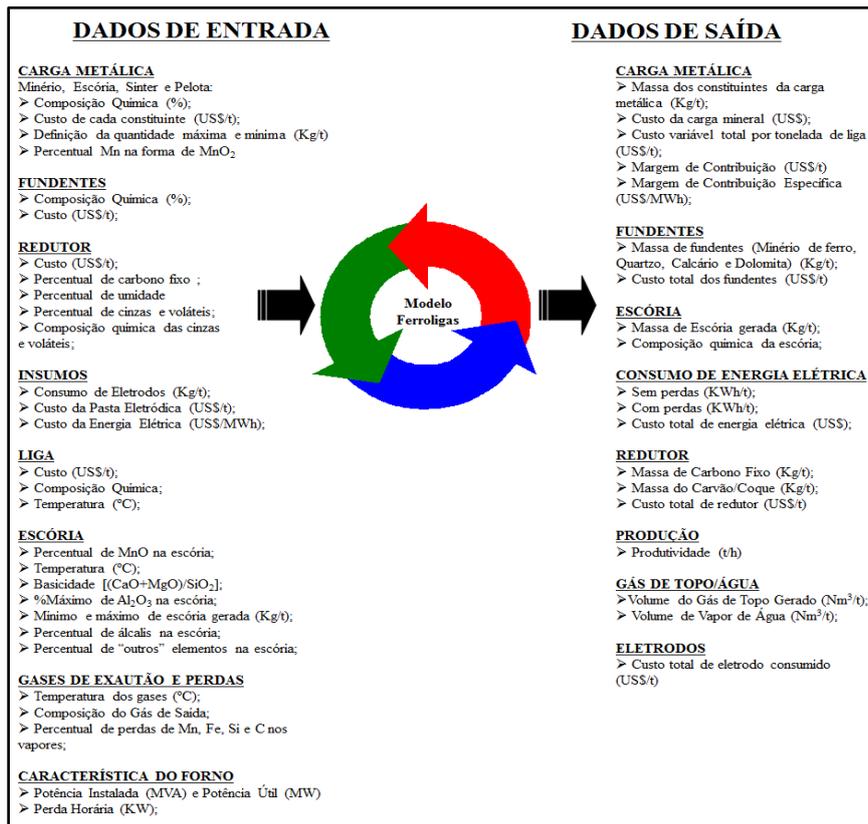


Figura 3. Dados de entrada e saída do modelo termoquímico de um forno elétrico de redução.

Com base no modelo termoquímico foi elaborado uma carga no forno que representasse uma típica operação de uma usina Chinesa produção de FeSiMn, denominado de “caso base”. O caso base é formado por minérios tipicamente usados em um grande produtor Chinês de FeSiMn com o emprego de um minério considerado benchmark.

O minério benchmark foi substituído por cada uma das cinco combinações dos minérios Vale e pelos dois minérios típicos Azul e Urucum, em suas composições originais, mantendo-se a mesma base mineral empregado nos fornos Chineses. Foram estudados, sete “casos bases” os quais foram possíveis determinar os preços das combinações dos minérios Vale, ao se igualar a mesma Margem de Contribuição Específica do caso base conforme representado na Figura 4. Aqueles preços calculados constituem o Valor em Uso (VIU – Value in Use) dos minérios.

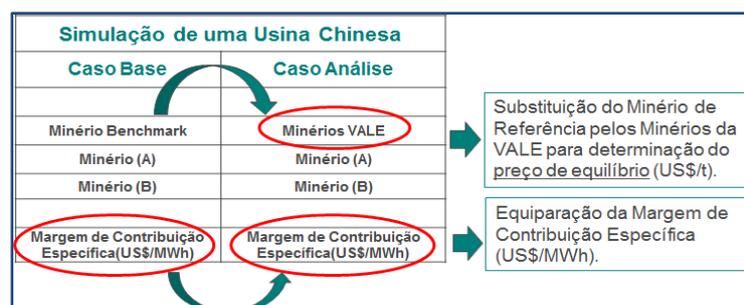


Figura 4. Representação esquemática do cálculo do Valor em Uso (VIU) dos minérios de manganês da Vale.

A avaliação dos impactos no aumento do consumo específico de energia e no custo variável quando se realiza alterações de cargas é a Margem de Contribuição Específica (US\$/kWh). Este indicador permite a comparação da margem de contribuição horária entre duas cargas (caso base e caso análise) com níveis diferentes de eficiência energética e de produtividade. A Margem de Contribuição Específica (M.C.E) é definida pela equação abaixo (Equação 1):

$$M. C. E \frac{US \$}{kWh} = \frac{(PV - CV) \frac{US \$}{t}}{(CEE) \frac{kWh}{t}} \quad (1)$$

Sendo:

M.C.E = Margem de Contribuição Específica (US\$/kWh)

PV = Preço de Venda da liga (US\$/t)

CV = Custo Variável da liga (US\$/t)

CEE = Consumo específico de Energia (kWh/t)

O preço do minério Vale que permite igualar Margem de Contribuição Específica do caso análise com o caso base, é o preço do minério na planta Chinesa. No entanto, o cálculo do Preço do Minério de Manganês Granulado (US\$/dmTU), base seca, FOB Mina é realizado conforme descrito pela equação abaixo (Equação 2).

$$FOB \text{ Mina} \frac{US \$}{dmTU} = \frac{P.M.P \frac{US \$}{t} - \frac{F.P.P \left(\frac{US \$}{t} \right)}{(1 - \%Umidade)} - \frac{FPM \left(\frac{US \$}{t} \right)}{(1 - \%Umidade)}}{\%Mn \text{ no minério}} \quad (2)$$

Sendo:

P.M.P = Preço do Minério na Planta Chinesa (US\$/t).

F.P.P = Frete Planta Chinesa até o porto Chinês (US\$/t).

F.P.M = Frete Porto Chinês até a Mina Vale (US\$/t).

dmTU = drymetrictonunit ou tonelada métrica seca.

2.2 Resultados

Os gráficos das Figuras 5 e 6 apresentam os preços relativos dos minérios Azul e Urucum isoladamente em comparação aos preços destes minérios na forma combinada. Ou seja, os gráficos das figuras demonstram quanto que cada minério Vale valorizou na forma de carga virtual em relação a comercialização individual quando se analisa o preço FOB Mina.

O minério Azul apresentou um aumento do valor do preço de 3,21% FOB Mina (figura 5) ao ser comercializado em conjunto com o Urucum, na proporção 50%/50%, em comparação a comercialização isolada do minério Azul. Da mesma forma, o Urucum apresentou um aumento do valor do preço de 14,86% FOB Mina (figura 6) ao ser comercializado em conjunto com o Azul na proporção 50%/50% em comparação a comercialização isolada do Urucum.

As simulações mostraram que, o uso em conjunto de Azul e Urucum na proporção 50%/50%, permite maior valorização dos minérios porque, quando misturados, os fornos de redução apresentam melhor performance operacional.

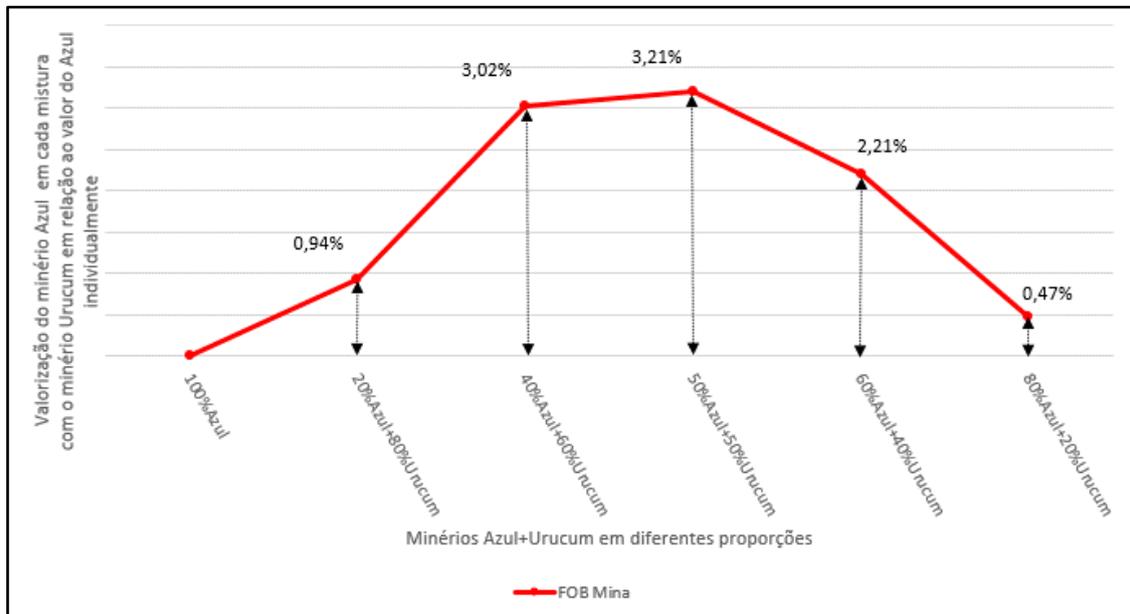


Figura 5. Aumento do valor do preço do minério 100% Azul em comparação à forma combinada com o minério Urucum em diferentes proporções.

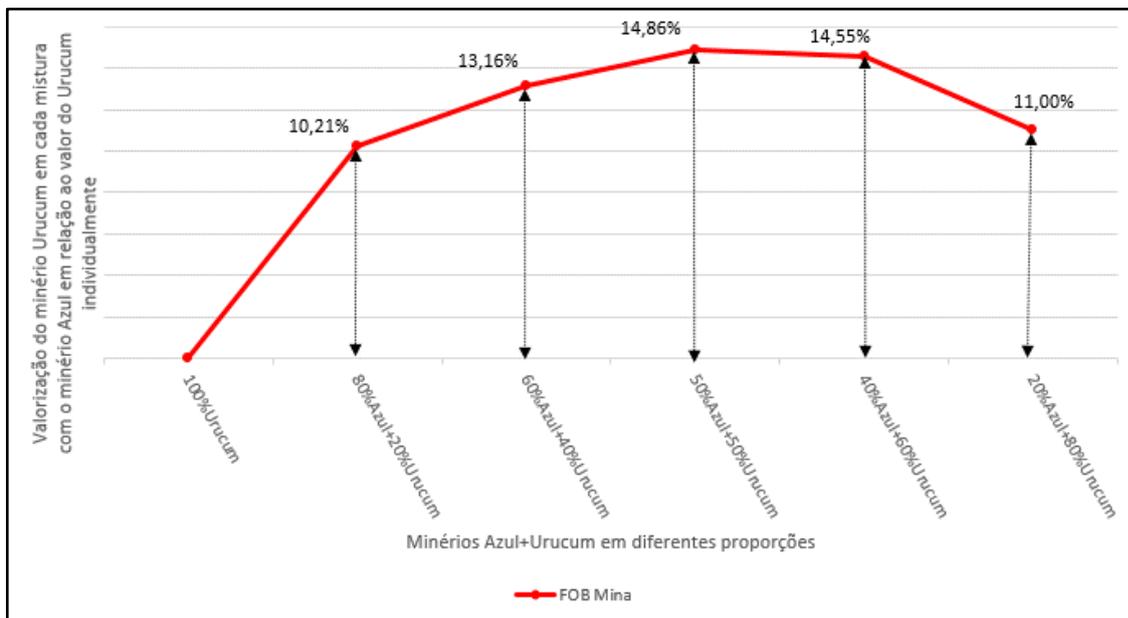


Figura 6. Aumento do valor do preço do minério 100% Urucum em comparação à forma combinada com o minério Azul em diferentes proporções.

2.3 Discussão dos Resultados

As simulações com os minérios Vale e com os produtos virtuais foram realizadas para a produção de uma liga FeSiMn (Ferro Sílico-Manganês). Assim sendo, do ponto de vista químico, à medida que se adiciona Azul ao Urucum, há uma melhora, principalmente, nos Fatores de Competividade Mn/Fe e Mn/P.

Embora as demais relações sofram uma diminuição, até um certo ponto, há vantagens operacionais associadas. No caso da relação Mn/SiO₂, a redução deste valor, ou seja, o aumento no aporte de SiO₂ via aumento do Azul, acarreta uma diminuição na adição de quartzo para atender a basicidade ternária (B3) da carga mineral, que para a liga FeSiMn, varia de 0,5 a 0,7. Quando aquela relação diminui ainda mais, a SiO₂ oriunda do minério, promove o aumento do volume de escória, que por sua vez, afeta o consumo específico de energia e na margem de contribuição específica.

No caso da redução da relação Mn/Al₂O₃, o aumento da Al₂O₃ é absorvido pela escória gerada até os valores de 21% à 25% considerado nos cálculos de leito de fusão. Aqueles valores percentuais máximos garantem um nível de viscosidade da escória que permita um eficiente esgotamento da escória do forno ao longo do canal de corrida. O contínuo aumento da Al₂O₃, por ocasião do aumento do Azul no minério virtual, provoca o aumento no volume de escória gerada.

A umidade sempre será um demérito porque representa diretamente aumento no consumo de energia do forno; ao passo que os demais elementos constituintes dos minérios, até em certos níveis que não impactem no aumento em demasia da escória, podem representar economia na adição de fundentes (quartzo, calcário, dolomita e etc). Vale ressaltar que, no caso específico dos minérios Azul e Urucum, a relação Mn/(CaO+MgO) não é tão representativa devido aos baixos teores naturalmente existentes nestes minérios.

Por outro lado, o valor do minério de Manganês cresce gradativamente, apesar do aumento crescente da umidade, até o ponto de valor máximo da combinação 50%Azul+50%Urucum. A partir deste ponto, a umidade continua aumentando e o preço começa a cair. Isso deve-se ao fato que, antes de atingir o ponto do valor máximo do VIU, a umidade das misturas virtuais é menor que a umidade do minério de referência. Quando atinge o valor máximo das misturas virtuais, a umidade da mistura virtual é igual ou próxima da umidade do minério de referência. A partir daquele ponto máximo, os efeitos negativos da umidade passam a ser mais significativos.

Assim sendo, apesar de não ser uma mistura física, o valor máximo do preço dos minérios Vale é atingido quando os Fatores de Competividade são equilibrados. Desse modo, o novo produto mineral virtual otimizará os méritos e os deméritos de cada minério individualmente. A mistura 50%Azul+50%Urucum representa uma condição de operação otimizada nos fornos de redução que, se uma empresa cliente aplicar estes dois minérios em seus fornos na proporção 50%/50% haverá maiores ganhos operacionais e econômicos em relação ao minério benchmark. Por outro lado, o maior resultado econômico da empresa cliente pelo uso otimizado dos

minérios, permitirá a possibilidade de captura de maior remuneração pelo preço dos minérios nas negociações comerciais.

3 CONCLUSÃO

Os Fatores de Competitividade ou relações químicas são importantes parâmetros que afetam diretamente no nível de preços dos diferentes minérios de manganês. Isso deve-se ao fato de que, minérios com maiores valores nos Fatores de Competitividade, permitem melhor performance operacional dos fornos de redução; o que se traduz em maior valor de mercado destes minérios em relação a outros.

Cargas minerais com diferentes minérios de manganês usualmente praticados nas usinas produtoras de ligas de manganês, visam justamente a obtenção de um melhor resultado financeiro mediante uma melhor eficiência na operação dos fornos de redução, por meio do equilíbrio daqueles fatores.

Por parte de quem comercializa o minério, o conhecimento das condições de operação dos fornos das empresas clientes, permitirá propor àquelas empresas, cargas nos fornos que tragam um melhor retorno financeiro com o uso de seus produtos minerais e, ao mesmo tempo, será possível obter maior preço pelo minério comercializado.

O estudo da performance dos fornos de ligas de manganês com o emprego de diferentes produtos minerais deve ser realizado empregando uma adequada ferramenta de modelamento termodinâmico dos fornos de redução. O modelamento termodinâmico consiste no desenvolvimento de cálculos de balanço de massa e balanço térmico que seja possível representar as condições de operação dos fornos. A comercialização em conjunto dos minérios Urucum e Azul a uma proporção 50%/50%, apresenta uma melhor captura de valor ao invés da comercialização de cada minério individualmente. Em outras palavras, o uso em conjunto na proporção citada proporcionará uma melhor performance operacional nos fornos possibilitando uma melhor remuneração dos minérios nas negociações comerciais.

Agradecimentos

Agradecemos ao Gerente Executivo Manganês Ligas – Kesley Medeiros Julianelli - e ao Gerente Comercial, Planejamento e Desenvolvimento Manganês - Marcus Costa Moraes - pelo apoio e incentivo concedidos para a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

O conteúdo este trabalho foi extraído da expertise dos autores e de informações internas da Vale Manganês.