



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 1103057-7 A2



\* B R P I 1 1 0 3 0 5 7 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 07/06/2011  
(43) Data da Publicação: 02/07/2013  
(RPI 2217)

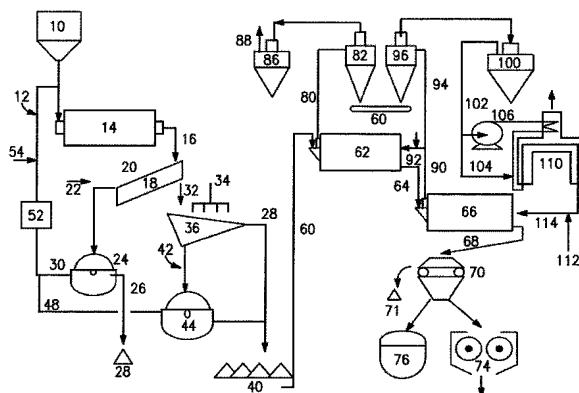
(51) Int.Cl.:  
C22B 3/12  
C21B 13/00

(54) Título: PROCESSO E APARELHO PARA REFINO DE FERRO A PARTIR DE MINÉRIO DE FERRO DE ALTO TEOR DE FÓSFORO

(73) Titular(es): C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.

(72) Inventor(es): Henry Rafael Bueno Colina

(57) Resumo: PROCESSO E APARELHO PARA REFINO DE FERRO A PARTIR DE MINÉRIO DE FERRO DE ALTO TEOR DE FÓSFORO. Um processo e aparelho para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo. O processo envolve misturar um minério de óxido de ferro de alto teor de fósforo e uma solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5, selecionar a mistura por gravidade para separar uma solução alcalina de alto teor de fósforo a partir de um minério de ferro de baixo teor de fósforo; e tratar o minério de ferro de baixo teor de fósforo com cal e gás natural.



**PROCESSO E APARELHO PARA REFINO DE FERRO A PARTIR DE MINÉRIO  
DE FERRO DE ALTO TEOR DE FÓSFORO**  
**FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO**

Esta invenção refere-se a ferro reduzido direto (DRI), mais particularmente, ao processo, método e aparelho para a produção de ferro reduzido direto e/ou ferro-gusa a partir de minérios de ferro com um alto teor de fósforo. O método e aparelho de acordo com esta invenção provêm um processo eficaz para a redução de fósforo em minérios de ferro, tornando-os adequados para uso em processos de redução direta de minérios de ferro. O minério de ferro de baixo teor de fósforo pode ser utilizado na fabricação de aço, por exemplo, o minério pode ser usado como uma matéria-prima no processo siderúrgico de arco elétrico ou pode ser derretido para produzir ferro gusa em fornos de redução elétricos ou de cúpula.

A redução direta de óxido de ferro nas formas, tais como torrões ou pedaços de tamanhos de partículas de minério variáveis, para ferro metálico no estado sólido tem se tornado uma realidade comercial em todo o mundo nos últimos 30 anos. A capacidade anual combinada de plantas de redução direta atualmente em operação excede cinquenta milhões de toneladas métricas de ferro diretamente reduzido. DRI é utilizado principalmente como uma matéria-prima para a fabricação de aço em fornos elétricos. Espera-se que a demanda mundial por ferro diretamente reduzido aumentará substancialmente ao longo dos próximos anos, na medida em que plantas adicionais de fabricação de aço de forno elétrico a arco são construídas.

Há dificuldades associadas na remoção de fósforo da matriz de óxido de ferro. Muitos dos mesmos processos para a concentração de ferro também concentram fósforo. Processos conhecidos para a redução direta de óxido de ferro para o ferro metálico começam com minério de ferro e/ou caroços de minério com um teor de fósforo pré-determinado de menos do que ou aproximadamente 0,05%. Uma vez que o fósforo está diretamente associado com o ferro na matriz de minério de ferro, minério de ferro com concentrações de fósforo maiores do que 0,05% são inadequados para a produção de ferro diretamente. Como resultado, grandes reservas de minério de ferro bruto, com um alto teor de fósforo e um alto teor de ferro total acumulam em locais de funcionamento de minério e não podem ser entregues. A dificuldade em separar o fósforo do minério de ferro bruto cria grandes reservas de minério de ferro bruto que não podem ser

usadas para produzir aço em fornos elétricos de fabricação de aço e/ou fornos de ferro-gusa.

#### RESUMO DA INVENÇÃO

5 É desejável prover um método para produzir ferro reduzido diretamente (DRI) e/ou ferro-gusa a partir de minérios de ferro com um alto teor de fósforo. O minério produzido pode ser utilizado como um alimento para os processos de redução direta. O produto resultante de minério de ferro reduzido é adequado para fornos elétricos de fabricação de aço e fornos de produção de ferro-gusa.

10 O objeto principal da presente invenção é a separação do fósforo de minérios de ferro com um alto teor de fósforo através da mistura de minérios de ferro ricos em fósforo com uma solução alcalina.

15 É um objeto adicional da presente invenção prover um processo de refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo compreendendo as etapas de: misturar um minério de óxido de ferro rico em fósforo e uma solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5 , em que uma mistura de uma solução alcalina rica em fósforo e um sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo são obtidos; selecionar a mistura por gravidade para separar a solução alcalina rica em fósforo do minério de ferro de baixo teor de fósforo; diluir a  
20 solução alcalina rica em fósforo para um pH entre aproximadamente 11,5 e 12,5, em que um sólido rico em fósforo precipita a partir de uma primeira solução alcalina diluída; e, tratar o minério de ferro de baixo teor de fósforo com um gás natural.

25 É ainda um objeto adicional em que a etapa de tratamento seja omitida da presente invenção e a presente invenção inclua uma etapa de cobertura com calcário compreendendo a adição de cal vivo, cal hidratado, carbonato de cálcio ou suas misturas para o minério de ferro de baixo teor de fósforo; alimentando o minério de ferro de baixo teor de fósforo coberto com calcário; e, entrar em contato com o minério de ferro de baixo teor de fósforo coberto com calcário com  
30 um gás natural para produzir um minério de ferro reduzido.

35 É um objeto adicional da presente invenção criar um aparelho para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo compreendendo: um reator rotativo para misturar um minério de ferro rico em fósforo e uma solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5; assentador com tela para separação por gravidade de sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo e uma solução alcalina de alto teor de fósforo; uma estação de diluição,

em que a água é adicionada à solução alcalina rica em fósforo para precipitar um sólido rico em fósforo a partir de uma primeira solução alcalina diluída; um filtro para separar o sólido rico em fósforo a partir da primeira solução alcalina diluída; uma estação de seleção para lavar o sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo com água, em que um sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo é separado de uma segunda solução alcalina diluída contendo partículas finas de sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo; um filtro para separar as partículas finas de sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo da segunda solução alcalina diluída; um evaporador para reduzir o teor de água na primeira e na segunda solução alcalina diluídas para criar uma solução alcalina evaporada; uma estação de mistura para concentrar a solução alcalina evaporada para um pH de aproximadamente entre 12,5 e 13, e, um alimentador de reciclagem para reciclar a solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13 para o reator rotativo.

Também de acordo com a presente invenção, o aparelho para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo compreende ainda: uma correia transportadora, um reator de pré-redução compreendendo uma estação de secagem, uma estação de aquecimento e um alimentador de gás natural, em que a correia transportadora alimenta o minério de ferro de baixo teor de fósforo para o reator de pré-redução, um reator de redução compreendendo um alimentador de gás natural e um aquecedor; e um campo magnético em que o campo magnético é de aproximadamente 100 a 200 gauss.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Segue uma descrição detalhada das modalidades preferenciais da presente invenção, com referência aos desenhos em anexo, em que:

A figura 1 apresenta diagramaticamente o aparelho para a produção de DRI a partir de minérios de ferro com um alto teor de fósforo da presente invenção;

A figura 2 apresenta diagramaticamente uma modalidade de não-limitação da produção simplificada de minérios de ferro de baixo teor de fósforo a partir de minério de ferro rico em fósforo da presente invenção; e,

A figura 3 apresenta diagramaticamente uma modalidade de não-limitação, envolvendo a redução do minério de ferro de baixo teor de fósforo.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

A invenção refere-se a ferro diretamente reduzido (DRI), mais particularmente, ao processo, método e aparelho para produzir ferro diretamente

reduzido (DRI) e/ou ferro-gusa a partir de minérios de ferro com um alto teor de fósforo. Minério de ferro rico em fósforo é misturado com uma solução alcalina para separar o minério de ferro de baixo teor de fósforo de uma solução alcalina rica em fósforo. O minério de ferro de baixo teor de fósforo resultante é então  
5 reduzido. O minério de ferro reduzido é adequado como uma alimentação para processos siderúrgicos de forno a arco elétrico e/ou processo de produção de ferro gusa.

A seguir, o termo "DRI" é usado para se referir-se ao ferro diretamente reduzido. DRI é uma fonte alternativa de ferro produzido pelo aquecimento de um  
10 minério de ferro em uma temperatura suficientemente alta para queimar o seu teor de carbono e oxigênio, mas abaixo do ponto de fusão do ferro de 1535°C (2795°F). A produção é vendida sob forma de pellets ou briquetes (HBI) e contém de 90 a 97 por cento de ferro puro, sendo o restante principalmente carbono com pequenas quantidades de outras impurezas. DRI é refinado adicionalmente em  
15 um forno para conversão em aço.

A seguir, o termo "ferro-gusa" é usado para se referir a um metal semi-acabado produzido a partir de minério de ferro em um forno de explosão. A produção contém aproximadamente de 92 a 94 por cento de ferro, grandes quantidades de carbono normalmente de 2,0 a 4,0 por cento, com o equilíbrio  
20 consistindo de manganês em sua maioria e de silicone com pequenas quantidades de fósforo, enxofre e outras impurezas. O ferro gusa é refinado adicionalmente em um forno para conversão em aço.

Para efeitos da presente invenção, os termos "DRI" e "ferro-gusa" (também conhecido como "metálicos") podem ser usados alternadamente.

O método e aparelho para reduzir o teor de fósforo do minério de ferro começa com a etapa de lixiviação do minério com uma solução alcalina de pH elevado e/ou um agente de lixiviação de óxido de cálcio. A solução de pH elevado reduz o teor de fósforo no minério de ferro para produzir minério de ferro de baixo teor de fósforo que seja aceitável para usar em processos de ferro diretamente  
25 reduzido e/ou processos de produção de ferro gusa que é utilizado em processos siderúrgicos de forno a arco elétrico.  
30

O minério de ferro com um alto teor de fósforo é obtido a partir de instalações de mineração. O minério de ferro inicial com alto teor de fósforo pode ser composto de tamanhos de partículas variáveis que vão de aproximadamente  
35 100 microns a aproximadamente 5 milímetros. O teor de fósforo do minério de ferro rico em fósforo inicial é de aproximadamente 0,06% a aproximadamente

0,17%. O minério de ferro rico em fósforo inicial de tamanho de partícula variável é colocado em um reator/misturador rotativo com uma solução alcalina de pH elevado. O pH da solução é de aproximadamente 12 ou superior. A solução está presente em uma proporção de entre 1 a 2 m<sup>3</sup>/tonelada de minério, de preferência na proporção de uma tonelada de óxido de ferro por metro cúbico de solução alcalina para três toneladas de óxido de ferro por metro cúbico de solução alcalina.

O reator/misturador rotativo pode ser qualquer dispositivo de mistura que seja bem conhecido dentro da técnica, tal como um tambor rotativo ou uma estufa rotativa.

Após a mistura, o estágio seguinte no processo é a seleção dos minérios livres de fósforo/ de baixo teor de fósforo com água de processo em uma tela vibratória. Um assentador com tela deslizante separa a solução alcalina de lixiviação do minério. A solução alcalina flui através de um sistema de filtragem para a limpeza e é então reciclada de volta para o reator/misturador. Pronto para uso no próximo lote/amostra de minério rico em fósforo inicial.

A solução alcalina pode ser composta de hidróxido de sódio, hidróxido de amônia, hidróxido de potássio, uma amina e suas misturas. A malha de tela pode ser de qualquer tamanho apropriado que seja bem conhecido dentro da técnica, tal como de aproximadamente 100 microns. O sistema de filtragem pode ser qualquer sistema de filtragem que seja bem conhecido dentro da técnica, como um sistema de centrífuga ou um sistema de vácuo. O assentador com tela deslizante pode ser qualquer assentador que seja bem conhecido dentro da técnica, tal como um decantador simples ou um decantador baffled.

A figura 1 ilustra o aparelho e processo de conversão de minério de ferro rico em fósforo em DRI e/ou ferro-gusa. O aparelho compreende um funil (10) que recebe os óxidos de ferro ricos em fósforo de tamanho de partícula variável. O óxido de ferro rico em fósforo é alimentado do funil (10) para o reator/misturador rotativo (14). A solução alcalina é introduzida no sistema através da linha de alimentação (12). A linha (12) alimenta a solução alcalina para o misturador (14). O minério de ferro rico em fósforo e a solução alcalina são misturados. Em contacto com a solução alcalina, o fósforo na matriz de óxido de ferro dissolve-se na solução. O fósforo dentro de misturador (14) liquefaz, ou seja, os compostos de fósforo são lixiviados pela solução alcalina. Para lixiviar tanto de fósforo quanto possível, a mistura é deixada no reator/misturador (14) por entre 10 e 20 minutos, de preferência 12 a 16 minutos. Se o tempo de mistura não é

suficiente, a quantidade máxima de fósforo não vai alcançar a liquidez. Se o tempo de mistura é muito longo, o equipamento e/ou solução utilizados não são do tamanho adequado, quantidade, qualidade ou concentração. A mistura é feita para obter resultados de 0,8 kg de minério de ferro/m<sup>2</sup>s a aproximadamente 2,0 kg de minério de ferro/m<sup>2</sup>s. A solução alcalina em um pH entre 12,5 e 13,5, de preferência entre 12,5 e 13. Não é econômico usar uma solução alcalina com um pH superior a aproximadamente 13, no entanto, se o pH da solução alcalina é muito baixo o fósforo permanecerá um sólido dentro da matriz de ferro.

Continuando na figura 1, após o reator (14), a mistura passa através da linha (16) para um assentador com grade deslizante (18). O sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo é separado da solução por gravidade. A solução com um alto teor de fósforo deixa o assentador através de (20). Para reduzir o pH para entre 11,5 e 12,5, a água é adicionada à solução rica em fósforo através da linha (22). A água é adicionada em uma magnitude de 5 a 10 metros cúbicos de água por tonelada de sólido de minério de ferro. A redução do pH garante que os compostos de fósforo, precipitarão para fora da primeira solução alcalina diluída. Os compostos de fósforo são separados da primeira solução alcalina diluída em um filtro centrífugo (24). Os sólidos de fósforo e os compostos de fósforo são então armazenados na (28) através da linha (26). Os sólidos de fósforo e compostos de fósforo podem ser usados para qualquer aplicação a qual eles possam ser apropriados, tais como fertilizantes ou na produção de ferro gusa rico em fósforo.

A partir do assentador por gravidade o minério de ferro de baixo teor de fósforo parcialmente ou completamente livre de fósforo sai através da linha (32) e é então entregue para a tela (36), onde é lavado com água de processo entregue pela linha (34). O teor de fósforo no minério de ferro de baixo teor de fósforo é de aproximadamente 0,03% a aproximadamente 0,06%. A segunda solução alcalina diluída contendo partículas finas de minério de ferro de baixo teor de fósforo é enviada para um filtro centrífugo (44) através da linha (42). As partículas finas de minério de ferro de baixo teor de fósforo são separadas da segunda solução alcalina diluída. O minério de ferro de baixo teor de fósforo retido na tela (36) e as partículas de minério de ferro de baixo teor de fósforo retidas após filtragem (44) são entregues ao pátio de armazenamento (40) através da linha (28). O minério de ferro de baixo teor de fósforo no pátio de armazenamento (40) agora está pronto para a redução para criar DRI.

Continuando na figura 1, a primeira e a segunda solução alcalina diluída deixam os filtros (24) e (44) através das linhas (30) e (48). As soluções diluídas são entregues a um evaporador (52) através da linha (50). No evaporador (52) as soluções diluídas são concentradas removendo a água por evaporação e através da linha (54) as soluções são misturadas com uma solução alcalina nova. Uma vez misturada e concentrada a um pH entre 12,5 e 13,5, preferencialmente entre 12,5 e 13, a solução alcalina nova reinicia o ciclo entrando no sistema através da linha de alimentação (12).

O minério de ferro de baixo teor de fósforo parcialmente livre de fósforo é então alimentado a partir de armazenamento (40) através da linha (60) para um sistema de redução direta para remover o oxigênio. Os agentes redutores, tais como hidrogênio e monóxido de carbono, que são obtidos através da reforma do gás natural no núcleo parcialmente reduzido de ferro em si, são utilizados no sistema de redução.

Especificamente, referindo-se à figura 1, o minério de ferro de baixo teor de fósforo armazenado no (40) é alimentado para o sistema de redução direta através de uma correia transportadora (60) para o reator de pré-redução (62). No reator de pré-redução (62) o material é seco, pré-aquecido e pré-reduzido, removendo entre aproximadamente 30 a aproximadamente 50% do oxigênio através da ação do gás redutor, que entra através de (92). O gás de redução pode ser qualquer gás natural que seja bem conhecido dentro da técnica, tal como o hidrogênio, monóxido de carbono e suas misturas. O reator de redução pode ser qualquer reator de redução que seja bem conhecido dentro da técnica, tal como um forno rotativo. O material pré-reduzido é então transferido através do duto (64) para o reator de redução (66) em que até aproximadamente 90 a 97% do oxigênio é removido através da ação do gás natural de reforma, em que o gás de redução gerado no próprio reator (66) sobre a superfície quente do material reduzido quando da entrada de gás de alimentação quente através de fluxo (114) é colocado em contato com a superfície quente.

O material reduzido sai do reator (66) a uma temperatura entre aproximadamente 500°C a aproximadamente 700°C através do (68) e depois é passado através de um campo magnético (70). Se a temperatura estiver muito baixa, o material não vai reduzir. Se a temperatura for muito alta, o material irá agrupar tornando difícil a separação através do campo magnético. A força do campo magnético (70) é entre aproximadamente 100 e aproximadamente 200 gauss. Se a força do campo magnético for muito baixa, o material magnético não

irá separar. Se a intensidade do campo magnético for muito alta, o material não magnético pode agrupar com material magnético tornando difícil a separação do material não magnético. O material não magnético é separado e acumulado no (71) para mistura posterior com os compostos de fósforo armazenados no (28). O material não metálico separado e os compostos de fósforo são então usados seja para a produção de fósforo ferro guso rico em fósforo e/ou como aditivos na produção de fertilizantes. O produto é entregue ou para uma máquina de briquetagem (74) ou alimentado diretamente para um forno de fusão (76).

O gás de escape que sai do reator de pré-redução através do duto (80) é alimentado ao ciclone (82) para remover partículas de poeira carregadas e é então alimentado ao purificador (86) para resfriá-lo, lavá-lo e disponibilizá-lo como combustível através da linha (88). O limpador (86) pode ser qualquer limpador que seja bem conhecido dentro da técnica, tal como um limpador de risco, limpador a jato de água ou suas combinações. O gás que sai do reator de redução (66) através da linha (90) é dividido em duas partes, aproximadamente uma parcela de 30 a 40% equivalente a aproximadamente entre 400 e 800 nm<sup>3</sup>/t do produto reduzido vai para o reator de pré-redução através da linha (92), e aproximadamente outra parcela de 60 a 70% equivalente a aproximadamente 800 e 1400 nm<sup>3</sup>/t do produto reduzido é reciclada através da linha (94). O gás da linha (94) é alimentado ao ciclone (96) para remover partículas de poeira carregadas e é então alimentado ao limpador (100) para resfriá-lo, lavá-lo e entregá-lo ao compressor de gás (106) através da linha (102). Antes de entrar no compressor (106), parte do gás entre aproximadamente 200 e 400 nm<sup>3</sup>/t do produto reduzido é retirada como combustível para alimentar os queimadores de gás através da linha (104). O gás comprimido que sai do compressor a uma pressão de entre aproximadamente 1 e 3 bar é alimentado para o pré-aquecedor (110) para aumentar a sua temperatura para entre aproximadamente 700 e 900°C. Oxigênio ou ar enriquecido com oxigênio é injetado no gás pré aquecido através da linha (112) para elevar a temperatura para entre aproximadamente 900 e 1150°C de modo que o gás de alimentação que entra no reator através da linha (114) contenha energia suficiente para realizar as reações nos reatores de redução e de pré-redução. Se a temperatura for muito baixa, o gás de alimentação não terá energia suficiente para realizar a redução. Se a temperatura for muito alta, o material irá agrupar tornando difícil a redução. Se a pressão do gás for muito baixa, o gás de alimentação não terá energia suficiente para realizar

as reações. As reações de reforma e redução são difíceis de executar, se a pressão do gás for muito alta.

Em uma modalidade adicional de não limitação, cal vivo, cal hidratado, carbonato de cálcio e outros e suas misturas são adicionados ao minério de ferro de baixo teor de fósforo antes que ele seja alimentado para o sistema de redução de modo que parte do fósforo remanescente seja removido pela difusão do ferro para a cal. A cal é adicionada na proporção de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,3% do peso do minério. Se muito pouco de cal é adicionado, quantidades suficientes de fósforo não serão removidas. Existe o cuidado de não adicionar muita cal porque excesso de cal irá afetar o resultado da reação de redução. Parte do cal impregnado de fósforo é levado pelos gases e é presa no limpador pelos gases de combustão que saem do sistema de redução.

De acordo com esta modalidade, o gás de combustão deixa o sistema de redução com uma concentração de cal de entre aproximadamente 5 e 15 g/nm<sup>3</sup> de gás a uma temperatura entre aproximadamente 300 e 500°C. O gás de combustão é resfriado para entre aproximadamente 30 e 40°C em um limpador de refrigeração e devolvido ao sistema através da ação de um compressor. Após a compressão o gás de combustão é enriquecido com um fluxo de gás natural entre aproximadamente 0,1 e 0,2 nm<sup>3</sup> de gás natural/nm<sup>3</sup> de gás de combustão. A mistura de gás natural e gás de combustão é chamada gás de alimentação e é aquecida a uma temperatura de entre aproximadamente 700 e 900°C em um pré-aquecedor. Ar e/ou oxigênio são injetados no gás de alimentação quente para elevar sua temperatura para aproximadamente 900 e 1150°C. O gás de alta temperatura é então alimentado ao sistema de redução em que o metano e hidrocarbonetos pesados presentes no gás natural são convertidos em hidrogênio e monóxido de carbono que reagem com o óxido de ferro, removendo o oxigênio e concentrando o ferro.

Após a redução, o produto de ferro diretamente reduzido é então passado através de um campo magnético entre aproximadamente 100 e 200 gauss para separar o restante do cal, que não tenha sido carregado pelos gases. O material não magnético separado do ferro diretamente reduzido e o cal preso no limpador são misturados com o precipitado rico em fósforo para o uso em outras aplicações tais como a produção de ferro-gusa com um alto teor de fósforo, ou preparados para fertilizantes. O ferro diretamente reduzido que é livre de cal pode ser então alimentado para um forno de siderúrgica ou um forno para a produção de ferro-gusa, ou pode ser armazenado para usos posteriores. Este

método produz uma redução direta na qual o minério de ferro (de baixo teor de fósforo) parcialmente ou totalmente livre de fósforo é convertido em ferro de diretamente reduzido.

5 Outras vantagens desta invenção serão evidenciadas a partir do seguinte exemplo:

#### EXEMPLO

Para demonstrar as vantagens do método e aparelho de acordo com esta invenção, um método completo incluindo o aparelho é revelado na figura 1. A figura 2 exhibe diagramaticamente uma simplificação das etapas necessárias para a remoção de fósforo de minérios de ferro pelo método de acordo com esta invenção. A figura 3 exhibe diagramaticamente uma modalidade de não limitação que envolvem a redução do minério de ferro de baixo teor de fósforo produzido.

Conforme exibido na figura 2, de acordo com este processo minério de ferro com um alto teor de fósforo (200) de 0.14% foi adicionado a um recipiente (202) e misturado com uma solução alcalina de hidróxido de sódio (204) em um pH de 13. A solução foi agitada por um período de dez minutos e a mistura (203) foi filtrada com filtro de papel (206). O minério de ferro de baixo teor de fósforo sólido (205) foi separado da solução alcalina rica em fósforo (207). O percentual de fósforo no minério (210) filtrado pelo filtro de papel (206) foi determinado como sendo de 0,04%, conforme indicado na Tabela I abaixo. A solução alcalina de rica em fósforo (207) é diluída com água (208) derramada (209) dentro da solução. Na medida em que o pH cai, o fósforo na solução começa a se precipitar para fora. A solução é filtrada (230) para remover os sólidos de fósforos e compostos (212) através da solução alcalina diluída (213). A solução alcalina diluída (213) é aquecida para evaporar (214) a água. A solução alcalina concentrada (215) é então tratada com alcalino adicional (220) através da linha (221) até que uma solução alcalina de aproximadamente um pH de 13 seja obtido, então a solução (201) é reciclada como a solução alcalina inicial (204).

Seguindo o procedimento ilustrado na figura 2, minério de ferro com um alto teor de fósforo de 0,14% é adicionado ao recipiente. Após o tratamento, conforme ilustrado acima, o percentual de fósforo no minério encontrado no filtro de papel foi determinado como 0,04%.

Conforme ilustrado nos procedimentos de teste acima, o percentual de fósforo retirado da amostra inicial de minério de ferro é de aproximadamente 40% a aproximadamente 80%P.

Na Figura 3, 1% de cal foi adicionado ao minério de ferro de baixo teor de fósforo obtido (300). O minério (300) foi transferido (302) diretamente para um forno rotativo (304). Uma vez a amostra resfriada (308), está foi determinada para conter 0,052% de fósforo, conforme na Tabela I abaixo. A tabela I apresenta a análise de difração de raio-X em uma amostra inicial de minério de ferro rico em fósforo, um tratamento da figura 2 de uma amostra de minério de ferro de baixo teor de fósforo com solução alcalina e uma amostra de baixo teor de fósforo produzida pela redução direta através do uso de um agente de calagem. A análise por difração revela a redução do teor de fósforo após o tratamento descrito nesta invenção, demonstrando, portanto, o efeito e novidade do método de acordo com esta invenção.

TABELA I: RESULTADOS PARA O EXEMPLO

AMOSTRA	COMPOSTOS IDENTIFICADOS
Amostra de minério com alto teor de fósforo (0,14% P)	Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Fosfato de ácido ferroso ( $\text{Fe}_3 (\text{H}_2\text{PO}_3)$ ) Goetita ( $\text{Fe}(\text{OH})$ ) Vivianita ( $\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2(8\text{H}_2\text{O})$ ) Sílica ( $\text{SiO}_2$ ) Epidoto ( $\text{Ca}_2\text{-FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ ) Fosfato de alumínio ( $\text{AlPO}_4$ )
Amostra de minério tratado com solução alcalina (0,04% P)	Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Vivianita ( $\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2(8\text{H}_2\text{O})$ ) Sílica ( $\text{SiO}_2$ )
Amostra de minério reduzido (0,052% P)	Goetita ( $\text{Fe} (\text{OH})$ ) Wustite ( $\text{FeO}$ ) Vivianita ( $\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2(8\text{H}_2\text{O})$ ) Ferro Fe

O processo e aparelho para a redução direta de minério de ferro rico em fósforo da presente invenção podem ser implementados em outras aplicações possíveis. O processo da presente invenção pode ser aplicado à tecnologia convencional de metalúrgica, indústria química e qualquer aplicação que possa se beneficiar das propriedades de separação e redução da presente invenção.

É preciso entender que a invenção não se limita às ilustrações descritas e apresentadas aqui, que são consideradas meramente ilustrativas dos melhores modos de realizar a invenção, e que são susceptíveis de modificação de

forma, tamanho, disposição de partes e detalhes de operação. A invenção destina-se, ao invés, a abranger todas essas modificações, que estão dentro de seu espírito e escopo conforme definido pelas reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo **caracterizado** pelo fato de que compreende as etapas de:

5 misturar um minério de óxido de ferro rico em fósforo e uma solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5, em que uma mistura de uma solução alcalina rica em fósforo e um sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo são obtidos;

selecionar a mistura por gravidade para separar a solução alcalina rica em fósforo do minério de ferro de baixo teor de fósforo;

10 diluir a solução alcalina rica em fósforo para um pH entre aproximadamente 11,5 e 12,5, em que um sólido rico em fósforo precipita a partir de uma primeira solução alcalina diluída; e,

tratar o minério de ferro de baixo teor de fósforo com um gás natural.

15 2. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de diluição compreende adicionalmente as etapas de:

adicionar água à solução alcalina rica em fósforo; filtrar a solução alcalina rica em fósforo diluída para separar o sólido rico em fósforo precipitado da primeira solução alcalina diluída;

20 evaporar a primeira solução alcalina diluída, em que a evaporação concentra a primeira solução alcalina diluída;

adicionar alcalina nova para a primeira solução alcalina diluída concentrada até um pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5 ser atingido e,

25 reciclar a solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5 na etapa de mistura da reivindicação 1.

3. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de seleção compreende adicionalmente as etapas de:

30 selecionar o minério de ferro de baixo teor de fósforo com uma lavagem de água para produzir uma segunda solução alcalina diluída contendo partículas finas de minério de ferro de baixo teor de fósforo e sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo;

filtrar a segunda solução alcalina diluída para separar as partículas finas de baixo teor de fósforo a partir da segunda solução alcalina diluída;

35 evaporar a segunda solução alcalina diluída, em que a evaporação concentra a segunda solução alcalina diluída;

adicionar alcalina nova para a segunda solução alcalina diluída concentrada até um pH de aproximadamente 12,5 e 13,5 ser atingido; e,

reciclar a solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5 na etapa de mistura da reivindicação 1.

5 4. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro com alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a solução alcalina está presente em uma proporção de uma tonelada de minério de óxido de ferro rico em fósforo por metro cúbico de solução alcalina para três toneladas de minério de óxido de ferro rico em fósforo por metro cúbico de  
10 solução alcalina.

5. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a solução alcalina está presente em uma proporção de duas toneladas de minério de óxido de ferro rico em fósforo por metro cúbico de solução alcalina.

15 6. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o minério de óxido de ferro rico em fósforo tem um teor de fósforo superior a 0,05%.

20 7. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a solução alcalina tem uma faixa de pH entre aproximadamente 12,5 e 13.

25 8. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a solução alcalina é selecionada do grupo consistindo de hidróxido de sódio, hidróxido de amônia, hidróxido de potássio, uma amina e suas misturas.

9. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de mistura é realizada a uma velocidade de mistura para produzir aproximadamente de 0,8 a aproximadamente 2,0 kg de minério de ferro/m<sup>2</sup>s.

30 10. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de mistura é realizada durante 10 a 20 minutos.

35 11. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de mistura é realizada durante aproximadamente 12 a aproximadamente 16 minutos.

12. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o minério de ferro de baixo teor de fósforo tem um teor de fósforo de aproximadamente 0,03 a aproximadamente 0,06.

5 13. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que uma pluralidade de etapas de seleção e etapas de diluição são realizadas.

10 14. Processo para refino a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de redução compreende:

alimentar o minério de ferro de baixo teor de fósforo para um reator de pré-redução, em que o minério de ferro de baixo teor de fósforo é seco e pré-aquecido;

15 entrar em contato com o minério de ferro de baixo teor de fósforo seco e pré-aquecido com o gás natural, em que até aproximadamente 30-50% de oxigênio é removido;

alimentar o minério de ferro de baixo teor de fósforo pré reduzido para um reator de redução, e,

20 entrar em contato com o minério de ferro de baixo teor de fósforo pré reduzido com o gás natural para produzir um minério de ferro reduzido, em que até aproximadamente 90 a 97% do oxigênio é removido.

25 15. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de tratamento compreende adicionalmente a etapa de passar o minério de ferro reduzido através de um campo magnético.

16. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato de que o campo magnético está entre aproximadamente 100 e 200 gauss.

30 17. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que o minério de ferro reduzido deixa o reator em uma temperatura de aproximadamente 500 a 700°C.

35 18. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de redução é realizada a uma temperatura de aproximadamente 900 a 1150°C.

19. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o gás natural tem um alto teor de metano.

5 20. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o gás de redução é obtido a partir de gás natural reformado.

21. Processo para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo **caracterizado** pelo fato de que compreende as etapas de:

10 misturar um minério de óxido de ferro rico em fósforo e uma solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5, em que uma mistura de uma solução alcalina rica em fósforo e um sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo são obtidos;

selecionar a mistura por gravidade para separar a solução alcalina rica em fósforo do minério de ferro de baixo teor de fósforo;

15 diluir a solução alcalina rica em fósforo para um pH de entre aproximadamente 11,5 e 12,5, em que um sólido rico em fósforo precipita a partir de uma primeira solução alcalina diluída;

20 adicionar um material selecionado a partir do grupo constituído de cal viva, cal hidratada, carbonato de cálcio e suas misturas ao minério de ferro de baixo teor de fósforo;

alimentar o minério de ferro de baixo teor de fósforo coberto com calcário para um reator de redução; e

entrar em contato com o ferro de baixo teor de fósforo coberto com calcário com um gás natural para produzir um minério de ferro reduzido.

25 22. Aparelho para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um reator rotativo para misturar um minério de ferro rico em fósforo e uma solução alcalina de aproximadamente entre pH 12,5 e 13,5;

30 um assentador com tela para separação por gravidade de sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo e uma solução alcalina de alto teor de fósforo;

uma estação de diluição, em que a água é adicionada à solução alcalina rica em fósforo para precipitar um sólido rico em fósforo a partir de uma primeira solução alcalina diluída;

35 um filtro para separar o sólido rico em fósforo a partir da primeira solução alcalina diluída;

uma estação de seleção para lavar o sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo com água, em que um sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo é separado de uma segunda solução alcalina diluída contendo partículas finas de sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo;

5 um filtro para separar as partículas finas de sólido de minério de ferro de baixo teor de fósforo da segunda solução alcalina diluída;

um evaporador para reduzir o teor de água na primeira e na segunda solução alcalina diluídas para criar uma solução alcalina evaporada;

10 uma estação de mistura para concentrar a solução alcalina evaporada para um pH de aproximadamente entre 12,5 e 13, e,

um alimentador de reciclagem para reciclar a solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13 para o reator rotativo.

23. Aparelho para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato de que  
15 compreende adicionalmente:

uma correia transportadora;

um reator de pré-redução compreendendo uma estação de secagem,

20 uma estação de aquecimento e um alimentador de gás natural, em que a correia transportadora alimenta o minério de ferro de baixo teor de fósforo para o reator de pré-redução,

um reator de redução compreendendo um alimentador de gás natural e um aquecedor; e,

um campo magnético, em que o campo magnético é de aproximadamente 100 a 200 gauss.

25 24. Aparelho para refino de ferro a partir de minério de ferro de alto teor de fósforo, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

uma estação de calcário, em que cal viva, cal hidratada, carbonato de cálcio ou suas misturas, é adicionado ao minério de ferro de baixo teor de fósforo.

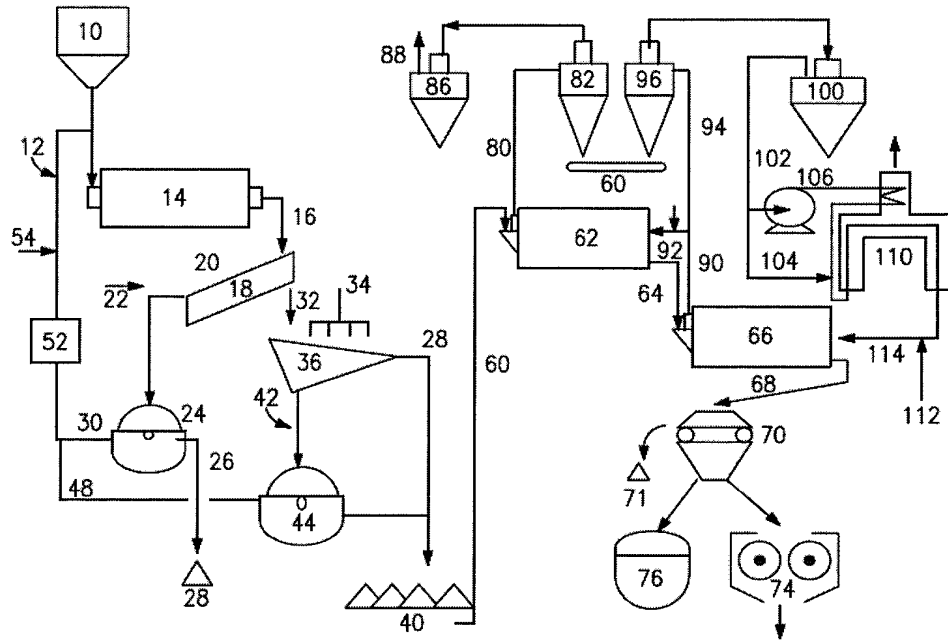
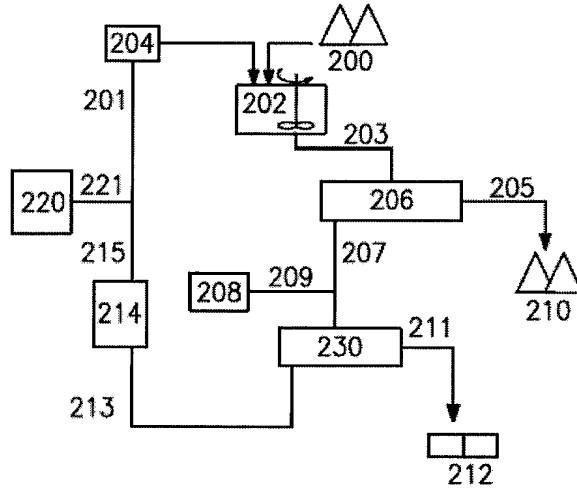
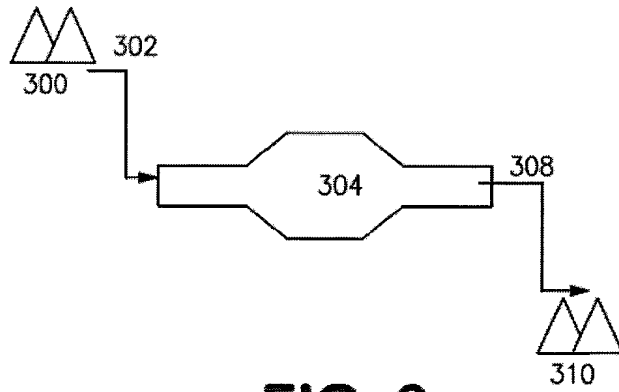


FIG. 1



**FIG. 2**



**FIG. 3**

**RESUMO****PROCESSO E APARELHO PARA REFINO DE FERRO A PARTIR DE MINÉRIO DE FERRO DE ALTO TEOR DE FÓSFORO**

5 Um processo e aparelho para refino de ferro a partir de minérios de ferro de alto teor de fósforo. O processo envolve misturar um minério de óxido de ferro de alto teor de fósforo e uma solução alcalina de pH entre aproximadamente 12,5 e 13,5, selecionar a mistura por gravidade para separar uma solução alcalina de alto teor de fósforo a partir de um minério de ferro de baixo teor de fósforo; e tratar o minério de ferro de baixo teor de fósforo com cal e gás natural.