



PI 05117003
PI 05117003

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0511700-3

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0511700-3

(22) Data do Depósito: 20/05/2005

(43) Data da Publicação do Pedido: 08/12/2005

(51) Classificação Internacional: C21B 13/00; C21B 13/14; C22B 5/14

(30) Prioridade Unionista: 31/05/2004 AU 2004902899

(54) Título: PROCESSO DE REDUÇÃO DIRETA E INSTALAÇÃO DE PROCESSAMENTO PARA O DITO PROCESSO

(73) Titular: OUTOTEC OYJ. Endereço: Puolikkotie 10, FI-02230 ESPOO, Finlândia (FI).

(72) Inventor: ORTH, ANDREAS; EICHBERGER, HEINZ; PHILP, DONALD, KEITH; DRY, ROD

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 20/05/2005, observadas as condições legais.

Expedida em: 22 de Abril de 2015.

Assinado digitalmente por:

Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



"PROCESSO DE REDUÇÃO DIRETA E INSTALAÇÃO DE PROCESSAMENTO PARA O DITO PROCESSO".

A presente invenção refere-se a um processo de redução direta e a uma instalação de processamento para
5 redução direta de um material de alimentação metalífero, particularmente, embora que não exclusivamente, a um processo de redução direta e instalação de processamento para redução direta de um material de alimentação contendo ferro, tal como, um minério de ferro.

10 A presente invenção também refere-se a um processo para redução de um material de alimentação metalífero, que compreende um processo de redução direta, para reduzir parcialmente o material de alimentação metalífero no estado sólido e um processo de fundição para
15 fundir, e depois reduzir, o material de alimentação metalífero parcialmente reduzido em um metal fundido.

Uma tecnologia conhecida de redução direta é a chamada "Tecnologia CIRCOFER", a qual é capaz de reduzir minério de ferro no estado sólido, para promover uma
20 metalização em um nível de 50% ou até mesmo um percentual superior.

A tecnologia CIRCOFER é baseada no uso de diferentes leitos fluidizados. Os principais materiais de alimentação para os leitos fluidizados incluem gás de
25 fluidificação, óxidos metálicos (tipicamente finos de minério de ferro), material carbonáceo sólido (tipicamente carvão) e gás contendo oxigênio (tipicamente gás oxigênio). O produto principal produzido nos leitos fluidizados se

constitui de óxidos de metal metalizados, isto é, óxidos de metal que foram pelo menos parcialmente reduzidos.

O presente Depositante imaginou ser possível, de forma efetiva e eficiente, reduzir óxidos de ferro no estado sólido em um processo de dois estágios, em que o calor é gerado por meio de reações entre o material carbonáceo sólido e o gás contendo oxigênio em um primeiro leito fluidizado e o material de alimentação metalífero é reduzido em um segundo leito fluidizado, em que o calor é suprido ao segundo leito fluidizado através de uma corrente de gás removido quente e de sólidos arrastados a partir do primeiro leito fluidizado.

De acordo com a presente invenção, é proporcionado um processo de redução direta para um material metalífero, cujo processo compreende:

- suprir um material carbonáceo sólido e um gás contendo oxigênio em um leito fluidizado em um primeiro vaso, e gerar calor mediante reações entre o gás contendo oxigênio e o material carbonáceo sólido e quaisquer outros sólidos oxidáveis e gases no leito fluidizado, e descarregar uma corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados; e
- suprir o material metalífero a um leito fluidizado em um segundo vaso, e suprir a corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados proveniente do primeiro vaso para o leito fluidizado no segundo vaso, e reduzir, pelo menos parcialmente, o material de alimentação metalífero no estado sólido no leito fluidizado e ainda descarregar uma

corrente de produto de material metalífero pelo menos parcialmente reduzido e uma corrente de gás removido contendo sólidos arrastados.

O processo acima descrito separa as funções de processo de geração de calor e de redução em dois vasos separados e torna possível se otimizar cada uma dessas funções.

Em particular, a separação das funções de geração de calor e redução significa que é possível se operar o primeiro vaso sob uma alta temperatura para gerar calor, garantindo a destruição de alcatrão e outros produtos de desvolatilização que poderiam ser aceitáveis numa situação em que a geração de calor e a redução ocorressem em um vaso. Especificamente, em uma situação em que a geração de calor e a redução ocorrem em um vaso, o potencial para problemas de agregação com materiais metalíferos limita as máximas temperaturas de operação que podem ser usadas.

De preferência, o processo compreende a geração de temperaturas no primeiro vaso que são superiores às temperaturas de operação no segundo vaso.

De preferência, o processo compreende a operação no primeiro vaso em temperaturas acima de 1000°C.

De preferência, o processo compreende a operação no segundo vaso em temperaturas abaixo de 1000°C.

De preferência, o processo compreende o suprimento de gás contendo oxigênio no primeiro vaso, de modo que ocorre um fluxo descendente do gás no primeiro vaso.

De preferência, o processo compreende o suprimento de um gás contendo oxigênio no segundo vaso.

Mais preferivelmente, a introdução de gás contendo oxigênio dentro do segundo vaso é executada sob
5 condições de tal modo controladas que ocorre uma desejada aglomeração de partículas menores de minério reduzido com outras partículas de material de alimentação, formando partículas maiores de minério reduzido.

De preferência, o processo compreende o
10 suprimento de gás contendo oxigênio dentro do segundo vaso, de modo que ocorre um fluxo descendente o gás no segundo vaso.

De preferência, o processo compreende injetar o gás contendo oxigênio dentro do primeiro vaso e/ou segundo
15 vaso através de pelo menos uma lança, que apresenta uma ponta de lança com uma saída posicionada no vaso, interiormente em relação a uma parede lateral do vaso, numa região central do vaso.

De preferência, a ponta da lança é dirigida
20 descendentemente.

Mais preferivelmente, a ponta da lança é dirigida verticalmente e descendentemente.

A posição da lança e, mais particularmente, a altura da saída da ponta da lança, é determinada fazendo-se
25 referência a certos fatores, tais como, a velocidade de injeção de gás contendo oxigênio, a pressão do vaso, a seleção e quantidades de outros materiais de alimentação para introdução no vaso e a densidade do leito fluidizado.

De preferência, o processo compreende resfriar a ponta da lança com água, de modo a minimizar a possibilidade da formação de agregados na ponta da lança, as quais podem bloquear a injeção do gás contendo oxigênio.

5 De preferência, o processo compreende o resfriamento com água de uma superfície externa da ponta da lança.

De preferência, o processo compreende injetar o gás contendo oxigênio através de um tubo central da lança.

10 De preferência, o processo compreende injetar o gás contendo oxigênio com suficiente velocidade, de modo a formar uma zona substancialmente isenta de sólidos na região da ponta da lança, para diminuir a possibilidade da formação de agregados na ponta da lança, que poderiam
15 bloquear a injeção do gás contendo oxigênio.

De preferência, o processo compreende injetar nitrogênio e/ou vapor e/ou outro adequado gás de cobertura e fazer uma cobertura de uma extremidade inferior do tubo central para minimizar a oxidação do metal, o que poderia
20 resultar na formação de agregados na ponta da lança, que poderia bloquear a injeção do gás contendo oxigênio.

De preferência, o processo compreende o suprimento separado de material metalífero e da corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados,
25 proveniente do primeiro vaso, dentro do leito fluidizado no segundo vaso.

De preferência, o processo compreende o controle da diferença de temperatura entre a temperatura global no

leito fluidizado no segundo vaso e a temperatura média da superfície interna que faz face a uma parede lateral do segundo vaso, para que tal diferença não seja superior a 100°C.

5 O termo "temperatura global" é aqui entendido com o significado da temperatura média em todo o leito fluidizado.

Mais preferivelmente, a diferença de temperatura não é maior que 50°C.

10 No caso da redução de material de alimentação metalífero na forma de finos de minério de ferro, a temperatura global no leito fluidizado no segundo vaso, preferivelmente, se situa na faixa de 850 a 1000°C.

De preferência, a temperatura global no leito
15 fluidizado no segundo vaso é de pelo menos 900°C, mais preferivelmente, de pelo menos 950°C.

De preferência, o processo compreende controlar a variação de temperatura dentro do leito fluidizado no segundo vaso, de modo a ser inferior a 50°C.

20 A diferença de temperatura pode ser controlada através do controle de um certo número de fatores, incluindo, por exemplo, as quantidades de sólidos e de gases supridas ao segundo vaso e a seleção dos sólidos e dos gases.

25 Além disso, de preferência, o processo compreende controlar a pressão pelo menos no segundo vaso, numa faixa de pressão de 1-10 bar absoluto, mais preferivelmente, de 4-8 bar absoluto.

No caso da redução de material metalífero na forma de finos de minério de ferro, preferivelmente, os finos são de tamanho inferior a 6 mm.

De preferência, os finos apresentam um tamanho
5 médio de partícula na faixa de 0,1-0,8 mm.

Uma das vantagens do presente processo é que o mesmo pode aceitar uma substancial quantidade de material de alimentação metalífero com um tamanho de partícula de menos de 100 microns, sem uma significativa quantidade
10 desse material deixando o processo arrastado no gás removido. Isso é acreditado como sendo devido ao mecanismo de aglomeração que opera dentro do leito fluidizado, que promove um desejável nível de aglomeração entre as partículas dos materiais de alimentação, particularmente,
15 partículas abaixo de 100 microns, sem parecer que se promove uma descontrolada aglomeração, capaz de interromper a operação do leito fluidizado. De modo similar, os minérios friáveis que apresentam uma tendência de quebra durante o processamento e, dessa forma, aumentam a
20 proporção de partículas no leito fluidizado com um tamanho inferior a 100 microns, podem ser processados sem significativa perda do material de alimentação no gás removido do processo.

De preferência, o material carbonáceo sólido é
25 carvão de pedra. Em tal situação, o processo desvolatiliza o mencionado carvão em resíduo de queima de carvão e pelo menos parte do resíduo de queima de carvão reage com o oxigênio e forma CO no leito fluidizado, no primeiro vaso.

O carvão pode ser qualquer carvão adequado. Por exemplo, o carvão pode ser carvão em um meio altamente volátil, moído em tamanho inferior a 6 mm.

De preferência, o gás de fluidificação compreende
5 um gás não-oxidante.

De preferência, o gás de fluidificação no segundo vaso compreende um gás redutor, tal como, CO e H₂.

De preferência, o processo compreende selecionar a quantidade de H₂ no gás de fluidificação no segundo vaso,
10 como sendo pelo menos de 10% em volume do volume total de CO e H₂ no gás.

De preferência, o processo compreende separar o material de alimentação metalífero pelo menos parcialmente reduzido e pelo menos uma porção de outros sólidos (por
15 exemplo, resíduo de queima de carvão) da corrente do produto proveniente do segundo vaso.

De preferência, o processo compreende retornar pelo menos uma parte dos outros sólidos separados da corrente de produto para o primeiro vaso e/ou segundo vaso.

20 De preferência, o processo compreende separar pelo menos uma porção dos sólidos da corrente de gás removido do segundo vaso.

De preferência, o processo compreende o suprimento dos sólidos separados da saída da corrente de
25 gás removido para o primeiro vaso.

De preferência, o processo compreende o preaquecimento do material de alimentação metalífero com o gás removido proveniente do segundo vaso.

De preferência, o processo compreende o tratamento do gás removido após a etapa de preaquecimento e retorno pelo menos de uma parte do gás removido tratado para o primeiro vaso e/ou segundo vaso, na forma de gás de
5 fluidificação.

De preferência, o tratamento do gás removido compreende uma ou mais das etapas de:

- a) remoção dos sólidos;
- b) resfriamento;
- 10 c) remoção da água;
- d) remoção de CO₂;
- e) compressão; e
- f) reaquecimento.

De preferência, o tratamento do gás removido
15 compreende o retorno de pelo menos uma porção dos sólidos separados para o primeiro vaso e/ou segundo vaso.

O gás contendo oxigênio pode ser qualquer gás adequado.

De preferência, o gás contendo oxigênio
20 compreende pelo menos 90% em volume de oxigênio.

De acordo com a presente invenção, também é provida uma instalação de redução direta para um material metalífero, que compreende:

- a) um primeiro vaso para geração de uma corrente de gás
25 removido quente contendo sólidos arrastados, o primeiro vaso compreendendo um meio de admissão para suprimento de um material carbonáceo sólido, um gás de fluidificação e um gás contendo oxigênio dentro do primeiro vaso, mantendo um

leito fluidizado no vaso e produzindo a corrente de gás removido quente contendo os sólidos arrastados e, ainda, um meio de saída para a descarga da corrente de gás removido quente contendo os sólidos arrastados do vaso; e

- 5 (b) um segundo vaso, para reduzir pelo menos parcialmente o material metalífero em um estado sólido, em um leito fluidizado no segundo vaso, o segundo vaso compreendendo um meio de admissão para suprimento do material metalífero, da corrente de gás removido quente contendo os sólidos
- 10 arrastados proveniente do primeiro vaso e de um gás de fluidificação dentro do segundo vaso, mantendo o leito fluidizado no vaso e, ainda, um meio de saída para a descarga de uma corrente predominantemente de sólidos de um material de alimentação metalífero pelo menos parcialmente
- 15 reduzido proveniente do segundo vaso, e um meio de saída para a descarga de uma corrente de um gás removido e de sólidos arrastados também proveniente do segundo vaso.

De preferência, o primeiro vaso compreende meios de admissão separados para suprimento de material

20 carbonáceo sólido, gás de fluidificação e gás contendo oxigênio, dentro do primeiro vaso.

De preferência, o meio de admissão para suprimento de gás contendo oxigênio dentro do primeiro vaso compreende uma lança, que apresenta uma ponta de lança com

25 uma saída posicionada no vaso, interiormente em relação a uma parede lateral do vaso, numa região central do vaso.

De preferência, a ponta de lança é dirigida descendentemente numa região central do vaso, para injeção

do gás contendo oxigênio em um fluxo descendente.

De preferência, a ponta de lança é dirigida verticalmente e descendentemente.

De preferência, o segundo vaso compreende um meio
5 de admissão separado para suprimento do material carbonáceo sólido, da corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados proveniente do primeiro vaso e do gás de fluidificação dentro deste vaso.

De preferência, o segundo vaso compreende um meio
10 de admissão para suprimento de gás contendo oxigênio dentro desse vaso.

De preferência, o meio de admissão para
suprimento de gás contendo oxigênio dentro do segundo vaso
compreende uma lança, que apresenta uma ponta de lança com
15 uma saída posicionada no vaso, interiormente em relação a uma parede lateral do vaso, numa região central do vaso.

De preferência, a ponta de lança é dirigida descendentemente numa região central do segundo vaso, para injeção do gás contendo oxigênio em um fluxo descendente.

20 De preferência, a ponta de lança é dirigida verticalmente e descendentemente.

De preferência, a instalação compreende meios para separar os sólidos arrastados da corrente de gás removido proveniente do segundo vaso.

25 De preferência, o primeiro vaso compreende ainda um meio de admissão para suprimento dos sólidos separados pelo meio de separação de gás removido, dentro desse primeiro vaso.

De preferência, a instalação compreende um dispositivo para processamento da corrente de gás removido proveniente do segundo vaso e produz pelo menos parte do gás de fluidificação para o primeiro vaso e/ou segundo vaso.

De acordo com a presente invenção, é também proporcionado um processo para redução de um material metalífero compreendendo as etapas de:

- a) um processo de redução direta para reduzir parcialmente o material metalífero no estado sólido conforme descrito; e
- b) um processo de fusão para fundir e posterior reduzir o material metalífero parcialmente reduzido em metal fundido.

A presente invenção é descrita ainda com referência aos desenhos anexos, nos quais:

- a figura 1 representa um diagrama de uma modalidade de uma instalação para redução direta de um material de alimentação metalífero, em conformidade com a presente invenção; e
- a figura 2 representa um diagrama de outra modalidade de uma instalação para redução direta de um material de alimentação metalífero, em conformidade com a presente invenção.

A descrição seguinte se inclui no contexto de redução direta de um material metalífero na forma de minério de ferro em estado sólido. A presente invenção não está limitada a tal contexto, se estendendo para redução direta de outros materiais contendo ferro (tal como, ilmenita) e, de modo mais geral, a outros materiais

metalíferos.

A descrição seguinte se inclui também no contexto de redução direta de minério de ferro com carvão como um material carbonáceo sólido, com oxigênio como um gás contendo oxigênio e com gás removido reciclado contendo uma mistura de CO e H₂ como um gás de fluidificação. A presente invenção não está limitada a este contexto e se estende ao uso de qualquer outro material carbonáceo sólido, gás contendo oxigênio e gás de fluidificação adequados.

Com referência à figura 1, a instalação compreende um primeiro vaso (3), que contém um leito fluidizado de gás e sólidos arrastados e um segundo vaso (5), que contém um leito fluidizado de gás e sólidos arrastados.

O primeiro vaso (3) funciona como um gerador de calor e gera uma corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados, predominantemente carvão, que é transferida para o segundo vaso (5) através de uma linha (7). A finalidade da corrente de gás removido quente é proporcionar pelo menos parte do calor necessário para as reações no segundo vaso.

O segundo vaso (5) funciona como um reator de redução direta e reduz, pelo menos parcialmente, os finos de minério de ferro no estado sólido.

O segundo vaso produz duas correntes de saída.

Uma corrente de saída, descarregada do segundo vaso (5) através de uma saída (9) na base do segundo vaso (5), compreende uma corrente predominantemente de sólidos,

constituída de finos de minério de ferro pelo menos parcialmente reduzido e de outros sólidos, tipicamente, carvão.

A corrente de sólidos pode ser processada
5 mediante separação dos finos de minério de ferro pelo menos parcialmente reduzido e pelo menos uma porção de outros sólidos. Os outros sólidos, predominantemente, carvão, separados da corrente de produto, podem ser retornados para o primeiro vaso e/ou segundo vaso, como parte da
10 alimentação de sólidos para os vasos. O minério de ferro pelo menos parcialmente reduzido é posteriormente processado, caso necessário. Por exemplo, o minério de ferro pelo menos parcialmente reduzido pode ser suprido a um vaso de fundição contendo um banho de fusão para fusão
15 em ferro fundido, por exemplo, mediante um processo, tal como o chamado "Processo Hismelt".

A outra corrente de saída do segundo vaso (5), a qual é descarregada através de uma saída (61) em uma seção superior do segundo vaso (5), compreende gás quente
20 removido e sólidos arrastados.

A corrente de gás removido é transferida para um ciclone (13) através de uma linha (11). O ciclone (13) separa pelo menos parte dos sólidos arrastados da corrente de gás removido. Os sólidos separados circulam de forma
25 descendente do ciclone (13) através de uma linha (15) dentro do primeiro vaso (3). A corrente de gás removido circula de modo ascendente a partir do ciclone (13), dentro de uma câmara de mistura (17).

O gás removido proveniente do ciclone (13) se mistura e aquece os sólidos passados para a câmara de mistura (17) de um posterior ciclone (21), através de uma linha (23). A maioria dos sólidos na câmara de mistura (17) é arrastada no gás removido e passa para o ciclone (27) através da linha (25).

Ocorre uma separação do tipo sólido/gás no ciclone (27). Os sólidos separados circulam de forma descendente do ciclone (27) através de uma linha (29) dentro do segundo vaso (5). O gás de saída do ciclone (27) junto quaisquer sólidos restantes circula de forma ascendente a partir do ciclone (27) em uma adicional câmara de mistura (31).

A corrente de gás removido do ciclone (27) se mistura com o minério de ferro e aquece o mesmo na câmara de mistura (31). O minério de ferro é suprido à câmara de mistura (31) através de um funil de alimentação de carga fechado (33). A maioria do material na câmara de mistura (31) é conduzido para o ciclone (21) através de uma linha (35). Conforme detalhado acima, a maioria do material passado para o ciclone (21) passa para a câmara de mistura (17), de onde passa para o ciclone (27) e segundo vaso (5) através de uma linha (29).

O gás removido do ciclone (21) é transferido através de uma linha (37) para uma unidade de processamento de gás removido (39), sendo tratado nessa unidade conforme descrito adiante. Especificamente, o gás removido é tratado através de uma série de etapas, incluindo:

- a) remoção dos sólidos;
- b) resfriamento do gás removido;
- c) remoção de H₂O;
- d) remoção de CO₂;
- 5 e) compressão; e
- f) reaquecimento.

O gás removido tratado proveniente da unidade de processamento de gás removido (39) se torna um gás de fluidificação para os vasos (3) e (5), sendo transferido
10 para os vasos através de uma linha de transferência (41). O gás de fluidificação é injetado na base de cada vaso (3) e (5).

Carvão em meio altamente volátil tendo um tamanho de partícula de menos de 6 mm é suprido a uma seção
15 inferior do primeiro vaso (3), através de um dispositivo de alimentação de sólidos, tal como, um alimentador helicoidal ou uma lança (43), que se estende através de uma parede lateral do primeiro vaso (3).

Além disso, o oxigênio é suprido no primeiro vaso
20 (3) através de uma lança (45) que apresenta uma ponta de lança (47) se estendendo de forma descendente, com uma saída que dirige o oxigênio descendentemente numa região central do primeiro vaso (3).

Conforme descrito acima, o minério de ferro
25 preaquecido é suprido ao segundo vaso (5) através da linha (29) e a corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados proveniente do primeiro vaso (3) é suprida ao segundo vaso através da linha (7).

Além disso, oxigênio é injetado dentro do segundo

vaso (5) através de uma lança (49) que apresenta uma ponta de lança (51) se estendendo descendente, com uma saída que dirige o oxigênio de forma descendente numa região central do segundo vaso (5).

5 O acima descrito com referência ao suprimento de carvão, sólidos retornados e gás de fluidificação dentro do primeiro vaso (3) produz um fluxo ascendente de gás de fluidificação e carvão arrastado e outros sólidos retornados numa região central do primeiro vaso (3). De
10 modo crescente, as partículas de carvão e outros sólidos retidos se movimentam de modo ascendente, as partículas se desintegrando da corrente ascendente de gás de fluidificação e circulando predominantemente de forma descendente em uma região anular, entre a região central e
15 a parede lateral do primeiro vaso (3). Por fim, esses sólidos retidos são novamente arrastados na corrente ascendente do gás de fluidificação.

A corrente ascendente do gás de fluidificação e sólidos arrastados na região central do primeiro vaso (3) é
20 é disposta em contracorrente ao fluxo descendente do gás oxigênio. Alguns sólidos próximos ao fluxo do gás contendo oxigênio podem ser arrastados pelo gás contendo oxigênio e como resultado disso se tornam aderidos. A interação dos fluxos em contracorrente do gás de fluidificação e do gás
25 contendo oxigênio é acreditada como limitativa do grau em que os sólidos que se tornaram arrastados ou que passaram através do fluxo de oxigênio possam contatar as superfícies do vaso e provocar a formação de agregados. A formação de agregados é acreditada como sendo ainda limitada devido à

localização central do fluxo do gás oxigênio dentro do vaso.

No primeiro vaso, os finos de carvão são desvolatilizados para formar resíduos de queima de carvão e o material volátil de carvão se decompõe em produtos gasosos (como CO e H₂). Pelo menos parte do resíduo de queima de carvão e do material volátil reage com oxigênio e forma CO e produtos de reação a partir do material volátil. Essas reações geram substancial calor e, como descrito acima, o calor é transferido dentro do segundo vaso (5) pela saída quente da corrente de gás removido contendo sólidos arrastados que circulam dentro do segundo vaso (5) através da linha (7).

O acima descrito com referência ao suprimento de finos de minério de ferro preaquecido, corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados do primeiro vaso (3), gás contendo oxigênio e gás de fluidificação dentro do segundo vaso, produz um fluxo ascendente de gás e de sólidos arrastados numa região central do segundo vaso (5). De modo crescente, na medida em que as partículas sólidas se movem para cima, as partículas sólidas se desintegram da corrente ascendente de gás e circulam predominantemente de forma descendente em uma região anular, entre a região central e a parede lateral do segundo vaso (5). Tais sólidos recirculados são novamente arrastados na corrente superior do gás de fluidificação ou são descarregados do vaso.

O gás de fluidificação e o fluxo ascendente de sólidos fluidizados pelo gás de fluidificação no segundo

vaso (5) é disposto em contracorrente ao fluxo descendente do gás contendo oxigênio. Como descrito acima em relação ao primeiro vaso, esse fluxo em contracorrente do gás de fluidificação e do gás contendo oxigênio é acreditado de auxiliar o processo de redução, na medida em que os sólidos que foram arrastados ou passados através do fluxo de oxigênio contatam as superfícies do vaso e formam agregados.

O acima descrito com referência ao suprimento de finos de minério de ferro preaquecido, corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados proveniente do primeiro vaso (3), gás contendo oxigênio e gás de fluidificação dentro do segundo vaso (5) produz as seguintes reações em tal segundo vaso:

- 15 - reação de pelo menos parte do CO_2 (formado durante a redução do minério de ferro) com carbono para formar CO (reação de Boudouard);
- redução direta de finos de minério de ferro para ferro pelo menos parcialmente reduzido, através de CO e H_2 , cuja
20 reação forma CO_2 e H_2O .

A oxidação de sólidos e gases, tais como, resíduo de queima de carvão, partículas de material de alimentação metalífero parcialmente reduzido e materiais voláteis de carvão, realizada no primeiro vaso (3), H_2 e CO em uma seção superior do segundo vaso (5), que gera calor e promove aglomeração controlada de menores partículas de minério parcialmente reduzido com outras partículas dentro do leito fluidizado, forma partículas maiores de minério reduzido.

O Depositante não tem um entendimento totalmente claro nesse estágio do mecanismo ou mecanismos que possibilitam a obtenção da aglomeração controlada do material metalífero mencionado no último parágrafo.

5 Entretanto, sem se desejar qualquer ligação com os comentários seguintes, em um projeto de pesquisa o presente Depositante observou que os aglomerados que se formaram compreendem partículas menores, particularmente, finos, que se aderem entre si e a partículas maiores. O Depositante

10 especula que as condições na seção superior do vaso são tais que:

- a) partículas de minério de ferro de dimensões em microns, parcialmente e completamente reduzidas, isto é, metalizadas, reagem com oxigênio e geram calor e as
- 15 partículas oxidadas resultantes se tornam aderidas;
- b) partículas de finos de carvão reagem com oxigênio e se oxidam e a cinza resultante se torna aderida; e
- c) partículas de finos de minério de ferro se tornam aderidas como consequência de serem aquecidas.

20 O Depositante também especula que essas partículas aderidas menores se aderem a partículas maiores que apresentam uma maior capacidade de deterioração por calor, com o resultado global benéfico de que ocorre uma redução na proporção de partículas menores no vaso que

25 podem aderir às superfícies do dispositivo e serem levadas para fora do vaso, em uma corrente de gás removido.

A instalação mostrada na figura 2 é substancialmente idêntica à mostrada na figura 1 e as mesmas referências numéricas são usadas para descrever as

mesmas características.

A principal diferença entre as duas disposições é que a instalação mostrada na figura 2 não apresenta uma lança de injeção de oxigênio no segundo vaso (5).

5 As razões para omissão da lança de oxigênio no segundo vaso (5) poderiam ser:

a) a aglomeração suficientemente controlada pode ser obtida através de injeção de oxigênio apenas dentro do primeiro vaso (3); ou

10 b) o minério de ferro alimentado não contém uma grande quantidade de partículas ultrafinas.

Diversas modificações podem ser feitas nas modalidades da presente invenção mostradas através das figuras 1 e 2, sem que seja afastado o espírito e escopo da
15 invenção.

Por exemplo, conquanto que o primeiro vaso (3) de cada das modalidades compreenda uma lança (45) que apresenta uma ponta de lança (47) que se estende descendentemente, injetando oxigênio de modo descendente e
20 em contracorrente a um fluxo ascendente de sólidos e gás de fluidificação, a presente invenção não está a isso limitada, podendo se estender para outras disposições. Particularmente, a presente invenção não está limitada à injeção de oxigênio de forma descendente através de uma ou
25 mais lanças (45) que apresenta uma ponta de lança (47) se estendendo descendentemente.

Além disso, a presente invenção não está limitada a fluxos em contracorrente de oxigênio, sólidos e gás de fluidificação.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de redução direta para um material metalífero, **caracterizado** pelo fato de que o dito processo
5 compreende as etapas de:

- suprir um material carbonáceo sólido (43) e um gás contendo oxigênio (45) em um leito fluidizado em um primeiro vaso (3), e gerar calor mediante reações entre o gás contendo oxigênio (45) e o material carbonáceo sólido
10 (43) e quaisquer outros sólidos e gases oxidáveis no leito fluidizado, e descarregar uma corrente quente de gás removido contendo sólidos arrastados; e
- suprir o material metalífero (29) a um leito fluidizado em um segundo vaso (5), e suprir a corrente quente de gás
15 removido contendo sólidos arrastados (7) proveniente do primeiro vaso (3) para o leito fluidizado no segundo vaso (5), e reduzir, pelo menos parcialmente, o material de alimentação metalífero (29) no estado sólido no leito fluidizado e ainda descarregar uma corrente de produto de
20 material metalífero pelo menos parcialmente reduzido (9) e uma corrente de gás removido contendo sólidos arrastados (61).

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de se gerar temperaturas no
25 primeiro vaso (3) que são superiores às temperaturas de operação no segundo vaso (5).

3. Processo, de acordo com as reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de se operar o primeiro vaso (3) em temperaturas acima de 1000°C.

30 4. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se operar o segundo vaso (5) em temperaturas superiores a 1000°C.

5. Processo, de acordo com quaisquer das

reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se suprir um gás contendo oxigênio (45) dentro do primeiro vaso (3), de modo que ocorra um fluxo descendente do gás no primeiro vaso (3).

5 6. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se suprir um gás contendo oxigênio (45) dentro do segundo vaso (5), de modo que, preferivelmente, ocorra um fluxo descendente de gás no dito segundo vaso (5).

10 7. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se injetar o gás contendo oxigênio (45) dentro do primeiro vaso (3) e/ou segundo vaso (5), através de pelo menos uma lança, a qual apresenta uma ponta de lança (47) com uma
15 saída posicionada no vaso, interiormente em relação a uma parede lateral do dito vaso, numa região central do mesmo.

 8. Processo, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que a ponta da lança é dirigida de forma descendente, preferivelmente, de forma vertical e
20 descendente.

 9. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações 7 a 9, **caracterizado** pelo fato de se resfriar a ponta da lança com água.

25 10. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações 7 a 9, **caracterizado** pelo fato de se resfriar uma superfície externa da ponta da lança com água.

 11. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações 7 a 10, **caracterizado** pelo fato de se injetar o gás contendo oxigênio (45) através de um tubo
30 central da lança.

 12. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se injetar nitrogênio e/ou vapor e/ou outro adequado gás de cobertura, promovendo-se a cobertura de uma extremidade

inferior do tubo central.

13. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se suprir o material metalífero (29) e a corrente quente de gás removido, contendo sólidos arrastados (61), proveniente do primeiro vaso (3), dentro do leito fluidizado no segundo vaso (5).

14. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se controlar a diferença de temperatura entre a temperatura global no leito fluidizado no segundo vaso (5) e a temperatura média da superfície interna que faz face a uma parede lateral do segundo vaso (5), para que tal diferença não seja superior a 100°C, preferivelmente, não superior a 50°C.

15. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, em que o material metalífero (29) se apresenta na forma de finos de minério de ferro, **caracterizado** pelo fato de que a temperatura global no leito fluidizado no segundo vaso (5) se situa na faixa de 850-1000°C, preferivelmente, pelo menos de 900°C e, mais preferivelmente, pelo menos de 950°C.

16. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o controle da variação de temperatura dentro do leito fluidizado no segundo vaso (5) é de valor inferior a 50°C.

17. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se controlar a pressão pelo menos no segundo vaso (5), numa faixa de pressão de 1-10 bar absoluto, mais preferivelmente, de 4-8 bar absoluto.

18. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, em que o material metalífero (29) se apresenta na forma de finos de minério de ferro,

caracterizado pelo fato de que os ditos finos são de tamanho inferior a 6 mm.

19. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que os finos apresentam um tamanho médio de partícula na faixa de 0,1-0,8 mm.

20. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o material carbonáceo sólido (43) é carvão vegetal, preferivelmente, carvão vegetal em meio altamente volátil, moído em um tamanho inferior a 6 mm.

21. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o gás de fluidificação compreende um gás não-oxidante.

22. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o gás de fluidificação no segundo vaso (5) compreende um gás redutor, tal como, CO e H₂.

23. Processo, de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado** pelo fato de se selecionar a quantidade de H₂ no gás de fluidificação no segundo vaso (5) como sendo de pelo menos 10% em volume, em relação ao volume total de CO e H₂ no gás.

24. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se separar o material de alimentação metalífero pelo menos parcialmente reduzido (9) e pelo menos uma porção de outros sólidos da corrente de produto proveniente do segundo vaso (5).

25. Processo, de acordo com a reivindicação 24, **caracterizado** pelo fato de se retornar pelo menos uma parte dos outros sólidos separados da corrente de produto para o primeiro vaso (3) e/ou segundo vaso (5).

26. Processo, de acordo com quaisquer das

reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se separar pelo menos uma porção dos sólidos da corrente de gás removido do segundo vaso (5).

27. Processo, de acordo com a reivindicação 26,
5 **caracterizado** pelo fato de se suprir os sólidos separados da saída da corrente de gás removido, para o primeiro vaso (3).

28. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se preaquecer o material de alimentação metalífero (29) com o
10 gás removido do segundo vaso (5).

29. Processo, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado** pelo fato de se tratar o gás removido após a etapa de preaquecimento e se retornar pelo menos uma parte
15 do gás removido tratado para o primeiro vaso (3) e/ou segundo vaso (5), na forma de gás de fluidificação.

30. Processo, de acordo com a reivindicação 29, **caracterizado** pelo fato de que o tratamento do gás removido compreende uma ou mais das etapas de:

- 20 a) remoção dos sólidos;
b) resfriamento;
c) remoção da água;
d) remoção de CO₂;
e) compressão; e
25 f) reaquecimento.

31. Processo, de acordo com as reivindicações 29 ou 30, **caracterizado** pelo fato de que o tratamento do gás removido compreende retornar pelo menos uma porção dos sólidos separados para o primeiro vaso (3) e/ou para o
30 segundo vaso (5).

32. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o gás contendo oxigênio (45) compreende pelo menos 90% em volume de oxigênio.

33. Processo, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de se realizar um adicional processo de fundição, para fundir e depois reduzir o material metalífero parcialmente reduzido
5 (9) em metal fundido.

34. Instalação de redução direta para realizar o processo de redução direta para um material metalífero (29) como definido na reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de compreender:

- 10 a) um primeiro vaso (3) para geração de uma corrente quente de gás removido contendo sólidos arrastados (61), o primeiro vaso (3) compreendendo um meio de admissão para suprimento de um material carbonáceo sólido (43), um gás de fluidificação e um gás contendo oxigênio (45) dentro do
15 primeiro vaso (3), mantendo um leito fluidizado no vaso e produzindo a corrente quente de gás removido contendo os sólidos arrastados (61) e, ainda, um meio de saída para a descarga da corrente quente de gás removido contendo os sólidos arrastados (61) do vaso; e
- 20 (b) um segundo vaso (5), para reduzir pelo menos parcialmente o material metalífero (29) em um estado sólido, em um leito fluidizado no segundo vaso (5), o segundo vaso (5) compreendendo um meio de admissão para suprimento do material metalífero (29), da corrente quente
25 de gás removido contendo os sólidos arrastados (61) proveniente do primeiro vaso (3) e de um gás de fluidificação dentro do segundo vaso (5), mantendo o leito fluidizado no vaso e, ainda, um meio de saída para a descarga de uma corrente predominantemente de sólidos de um
30 material de alimentação metalífero pelo menos parcialmente reduzido (9) proveniente do segundo vaso (5), e um meio de saída para a descarga de uma corrente de um gás removido e de sólidos arrastados (61) proveniente do segundo vaso (5).

35. Instalação, de acordo com a reivindicação 34,

caracterizada pelo fato de que o primeiro vaso (3) compreende meios de admissão separados para suprimento do material carbonáceo sólido (43), do gás de fluidificação e do gás contendo oxigênio (45) dentro do primeiro vaso (3).

5 36. Instalação, de acordo com a reivindicação 35, **caracterizada** pelo fato de que o meio de admissão para suprimento de gás contendo oxigênio (45) no primeiro vaso (3) compreende uma lança, a qual apresenta uma ponta de lança (47) com uma saída posicionada no vaso, interiormente
10 em relação a uma parede lateral do vaso, numa região central do mesmo.

 37. Instalação, de acordo com a reivindicação 36, **caracterizada** pelo fato de que a ponta de lança (47) é dirigida descendentemente numa região central do vaso, para
15 injeção do gás contendo oxigênio (45) em um fluxo descendente.

 38. Instalação, de acordo com quaisquer das reivindicações 34 a 37, **caracterizada** pelo fato de que o segundo vaso (5) compreende um meio de admissão separado
20 para suprimento do material carbonáceo sólido (43), da corrente quente de gás removido contendo sólidos arrastados (61) proveniente do primeiro vaso (3) e do gás de fluidificação dentro deste vaso.

 39. Instalação, de acordo com quaisquer das reivindicações 34 a 38, **caracterizada** pelo fato de que o segundo vaso (5) compreende um meio de admissão para
25 suprimento de gás contendo oxigênio (45) dentro desse vaso.

 40. Instalação, de acordo com a reivindicação 39, **caracterizada** pelo fato de que o meio de admissão para
30 suprimento de gás contendo oxigênio (45) dentro do segundo vaso (5) compreende uma lança, a qual apresenta uma ponta de lança (51) com uma saída posicionada no vaso, interiormente em relação a uma parede lateral do vaso, numa região central do mesmo.

41. Instalação, de acordo com a reivindicação 40, **caracterizada** pelo fato de que a ponta de lança (51) é dirigida descendentemente numa região central do segundo vaso (5), para injeção do gás contendo oxigênio (45) em um
5 fluxo descendente.

42. Instalação, de acordo com quaisquer das reivindicações 34 a 41, **caracterizada** pelo fato de compreender meios para separar os sólidos arrastados (61) da corrente de gás removido proveniente do segundo vaso
10 (5).

43. Instalação, de acordo com a reivindicação 39, **caracterizada** pelo fato de que o primeiro vaso (3) compreende ainda um meio de admissão para suprimento dos sólidos separados pelo meio de separação de gás removido,
15 dentro desse primeiro vaso (3).

44. Instalação, de acordo com as reivindicações 42 ou 43, **caracterizada** pelo fato de compreender um dispositivo para processamento da corrente de gás removido proveniente do segundo vaso (5) e produzir pelo menos parte
20 do gás de fluidificação para o primeiro vaso (3) e/ou segundo vaso (5).

Figura 1

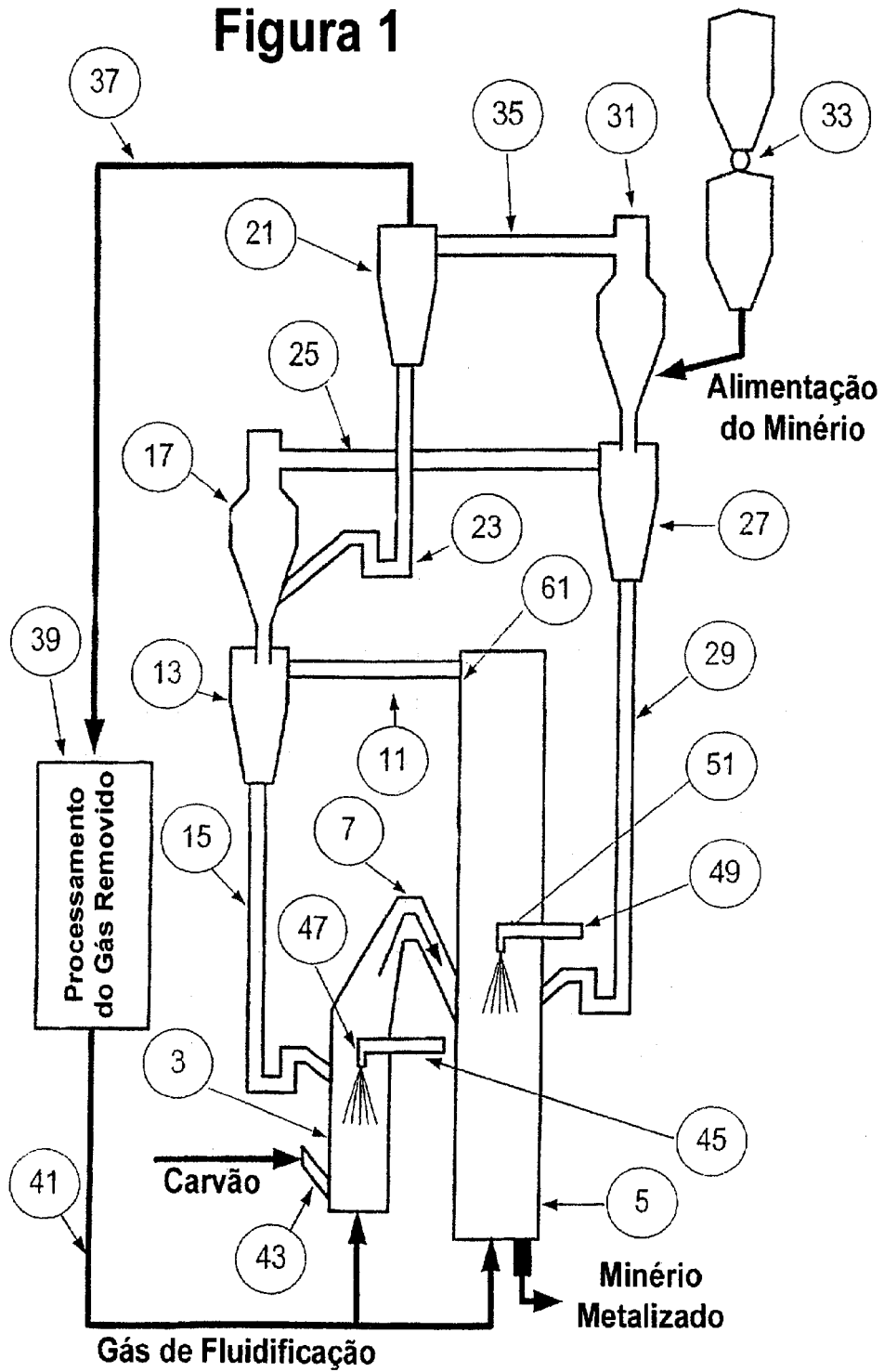
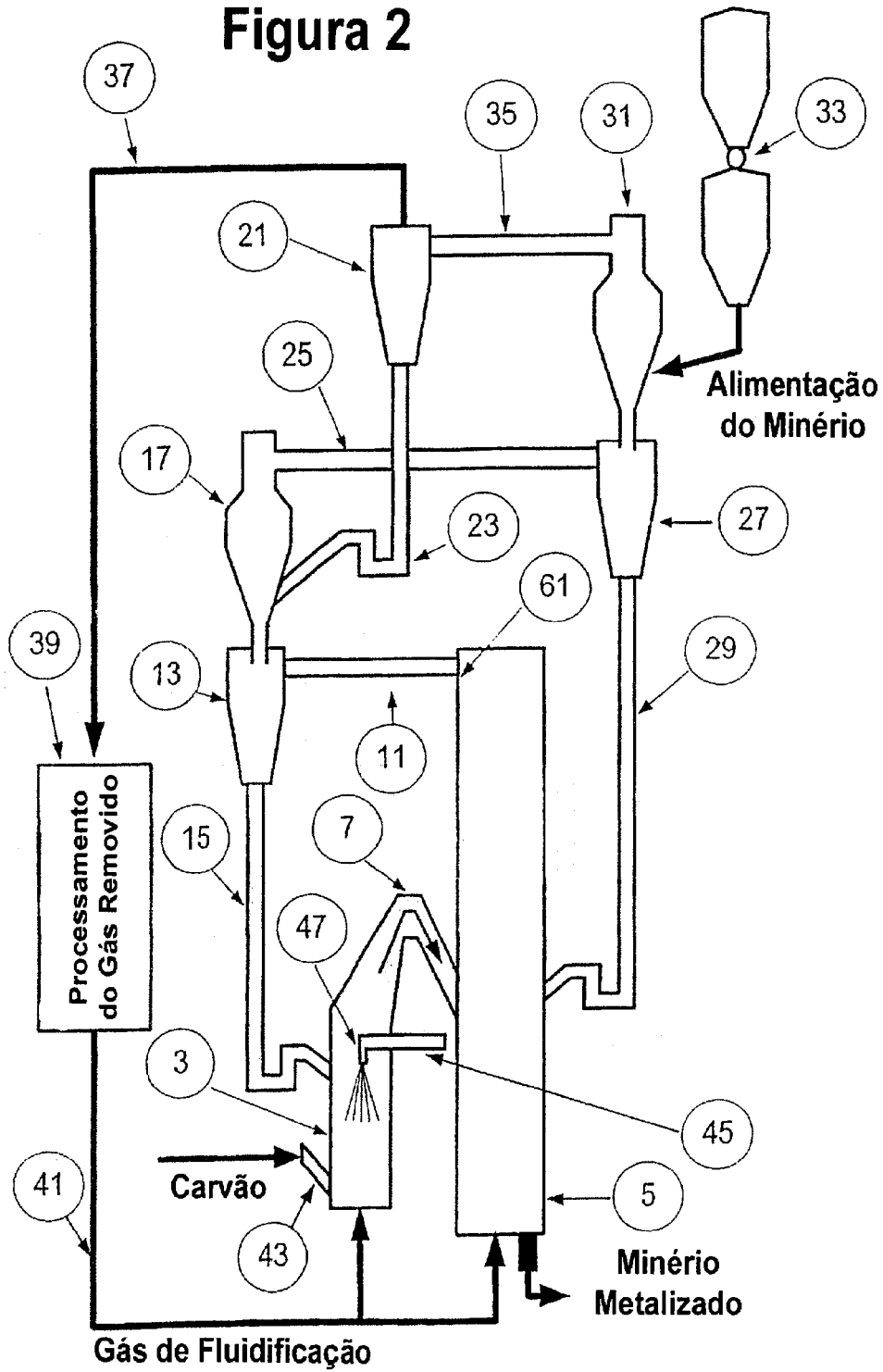


Figura 2



RESUMO

"PROCESSO DE REDUÇÃO DIRETA E INSTALAÇÃO DE PROCESSAMENTO PARA O DITO PROCESSO".

A presente invenção refere-se a um processo de
5 redução direta para um material metalífero, compreendendo:
- suprir um material carbonáceo sólido e um gás contendo
oxigênio em um leito fluidizado em um primeiro vaso (3), e
gerar calor mediante reações entre o gás contendo oxigênio e
o material carbonáceo sólido e quaisquer outros sólidos
10 oxidáveis e gases no leito fluidizado, e descarregar uma
corrente de gás removido quente contendo sólidos arrastados;
- suprir o material metalífero a um leito fluidizado em um
segundo vaso, e suprir a corrente quente de gás removido
contendo sólidos arrastados proveniente do primeiro vaso
15 para o leito fluidizado no segundo vaso, e reduzir, pelo
menos parcialmente, o material de alimentação metalífero no
estado sólido no leito fluidizado e ainda descarregar uma
corrente de produto de material metalífero pelo menos
parcialmente reduzido e uma corrente de gás removido
20 contendo sólidos arrastados.