



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

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



CARTA PATENTE N.º PI 0515812-5

Patente de Invenção

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE, 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 0515812-5

(22) Data do Depósito : 07/12/2005

(43) Data da Publicação do Pedido : 15/06/2006

(51) Classificação Internacional : C21B 13/00; C21B 13/10

(30) Prioridade Unionista : 07/12/2004 US 60/633,886

(54) Título : Método para uso na produção de pepitas metálicas de ferro

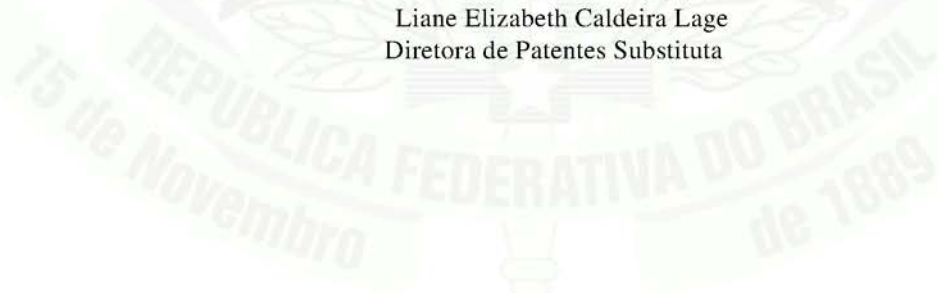
(73) Titular : NU-IRON TECHNOLOGY, LLC, Sociedade Norte-Americana. Endereço: 1915 Rexford Road, Charlotte NC 28211, Estados Unidos (US).

(72) Inventor : IWAOKI IWASAKI. Endereço: 660 20TH Avenue APT. 218, Grand Rapids MN 55744, US-Estados Unidos da América, Estados Unidos. Cidadania: Japonesa.; MICHAEL C. LALICH. Endereço: 4704 London Rd, Duluth Mn 55804, US - Estados Unidos da América, Estados Unidos. Cidadania: Norte Americana.; ROBERT C. BEAUDIN. Endereço: 1837 Minnesota Avenue, Duluth MN 55802, US-Estados Unidos da América, Estados Unidos. Cidadania: Norte Americana.; RICHARD F. KIESEL. Endereço: 10907 Meadowlark Lane, Hibbing MN 55746, Us - Estados Unidos da América, Estados Unidos. Cidadania: Norte Americana.; ANDREW L. LINDGREN. Endereço: 28880 Nordberg DR., Grand Rapids MN 55744, US-Estados Unidos da América, Estados Unidos. Cidadania: Norte Americana.; RODNEY L. BLEIFUSS. Endereço: 20839 N. Mishawaka DR., Grand Rapids MN 55744, US-Estados Unidos da América, Estados Unidos. Cidadania: Norte Americana.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 07/12/2005, observadas as condições legais.

Expedida em : 23 de Setembro de 2014.

Assinado digitalmente por
Liane Elizabeth Caldeira Lage
Diretora de Patentes Substituta



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA USO NA PRODUÇÃO DE PEPITAS METÁLICAS DE FERRO"**.

Interesse do Governo

5 A presente invenção foi feita com apoio da Economic Development Administration, Concessão nº 06-69-04501. O governo dos Estados Unidos pode ter certos direitos na invenção.

Antecedentes da Invenção

10 A presente invenção refere-se à redução de material contendo metal (por exemplo, a redução de material contendo metal como minério de ferro).

Muitos processos diferentes para redução de minério de ferro foram descritos e/ou usados no passado. Os processos podem ser classificados tradicionalmente em processos de redução direta e processos de redução por fusão. Geralmente, os processos de redução
15 direta convertem minérios de ferro em uma forma metálica de estado sólido com, por exemplo, o uso de fornos de cuba (por exemplo, fornos de cuba à base de gás natural), enquanto que a redução por fusão converte minérios de ferro em metal fundido quente sem o uso de altos-fornos.

20 Muitos dos processos de redução convencionais para produção de ferro diretamente reduzido (DRI) ou são processos à base de gás ou processos à base de carvão. Por exemplo, no processo à base de gás, a redução direta de óxido de ferro (por exemplo, minérios de ferro ou pelotas de óxido de ferro) emprega o uso de um gás de redução (por exemplo, gás natural reformado) para reduzir o óxido de ferro e obter DRI.
25 Métodos de produção de DRI empregaram o uso de materiais que incluem carbono (por exemplo, carvão, carvão vegetal, etc.) como agente de redução. Por exemplo, métodos à base de carvão incluem o método SL-RN descrito, por exemplo, na referência denominada "Direct reduction
30 down under: the New Zealand story", D.A. Bold e outros, Iron Steel International, Vol. 50,3 pp. 145 e 147-52 (1977), ou o método FASTMET® descrito, por exemplo, na referência denominada "Development of

pp. 877-881.

Um outro processo de redução entre o processamento de redução direta à base de gás ou à base de carvão e o processo de redução por fusão pode ser referido como redução por fusão. Os processos de redução por fusão foram descritos, por exemplo, na referência denominada "A new process to produce iron directly from fine ore and coal", de Kobayashi e outros, I&SM, pp. 19-22 (Set 2001), e, por exemplo, na referência denominada "New coal-based process, Hi-QIP, to produce high quality DRI for EAF", de Sawa e outros, ISIJ International, vol. 41 (2001), Suplemento, pp. S17-S21.

Tais processos de redução por fusão, por exemplo, envolvem geralmente as seguintes etapas de processamento generalizadas: preparação da alimentação, secagem, carregamento do forno, preaquecimento, redução, fusão/derretimento, resfriamento, descarga do produto, e separação do produto.

Vários tipos de fornos de soleira foram descritos e/ou usados para processamentos de redução direta. Um tipo de forno de soleira, referido como forno de soleira rotativa (RHF), foi usado como forno para produção à base de carvão. Por exemplo, em uma modalidade, o forno de soleira rotativa tem uma soleira anular separada em uma zona de preaquecimento, uma zona de redução, uma zona de fusão, e uma zona de resfriamento, localizadas ao longo do lado de fornecimento e do lado de descarga do forno. A soleira anular é apoiada no forno de modo a se mover rotativamente. Em operação, por exemplo, a matéria-prima compreendendo uma mistura, por exemplo, de minério de ferro e material de redução é carregada na soleira anular e fornecida à zona de preaquecimento.

Após o preaquecimento, através da rotação, a mistura de minério de ferro na soleira é movida para a zona de redução em que o minério de ferro é reduzido na presença de um material de redução em ferro reduzido e fundido (por exemplo, pepitas de ferro metálico) com o uso de uma ou mais fontes de calor (por exemplo, queimadores de gás). O produto reduzido e fundido, após o término do processo de redução, é resfriado na zona de resfriamento na soleira rotativa para evitar a oxidação e facilitar a descarga do

forno.

Foram descritos vários fornos de soleira rotativa para uso no processo de redução direta. Por exemplo, uma ou mais modalidades de tais fornos estão descritas na Patente U.S. nº 6.126.718 para Sawa e outros, emitida em 3 de outubro de 2000 e denominada "Method of Producing a Reduced Metal, and Traveling Hearth Furnace for Producing Same". Além disso, por exemplo, outros tipos de fornos de soleira foram também descritos. Por exemplo, um forno de soleiras gêmeas retas (PSH) está descrito na Patente U.S. nº 6.257.879 B1 para Lu e outros, emitida em 10 de julho de 2001, denominada "Paired straight hearth (PSH) furnaces para redução de óxido metálico", bem como em um forno de soleira linear (LHF) descrito no pedido de Patente Provisório nº 60/558197, depositado em 31 de março de 2004, publicada como US 2005-0229748 A1, e denominada "Linear hearth furnace system and methods regarding same".

Ferro diretamente reduzido à base de gás natural computa 90% da produção de DRI mundial. Processos à base de carvão são geralmente usados para produzir a quantidade remanescente de ferro diretamente reduzido. Entretanto, em muitas regiões geográficas, o uso de carvão pode ser mais desejável porque os preços do carvão podem ser mais estáveis que os preços do gás natural. Além disso, muitas regiões geográficas estão distantes das usinas siderúrgicas que usam o produto processado. Portanto, o embarque de unidades de ferro na forma de pepitas de ferro metalizado produzido por um processo de redução por fusão à base de carvão pode ser mais desejável que o uso do processo de redução por derretimento.

Geralmente pepitas de ferro metálico são caracterizadas pelo alto grau, essencialmente 100% de metal (por exemplo, cerca de 96% a cerca de 97% de Fe metálico). Tais pepitas de ferro metálico são desejáveis em muitas circunstâncias, por exemplo, pelo menos em relação a pelotas de taconita, que podem conter 30% de oxigênio e 5% de ganga. As pepitas de ferro metálico têm baixo teor de ganga porque o dióxido de silício foi removido como escória. Como tal, com pepitas de ferro metálico há menos peso a transportar. Além disso, diferentemente do ferro reduzido diretamente con-

vencional, as pepitas de ferro metálico têm baixas taxas de oxidação porque são metais sólidos e têm pouca ou nenhuma porosidade. Em adição, geralmente tais pepitas de ferro metálico são tão fáceis de manusear quanto pelotas de minério de ferro.

5 Um exemplo de processo de fusão de pepitas de ferro metálico para produzir pepitas de ferro metálico é referido como ITmk3. Por exemplo, em tal processo, bolas secas formadas usando-se minério de ferro, carvão e um aglutinador, são alimentados ao forno (por exemplo, um forno de soleira rotativa). À medida que a temperatura aumenta no forno, o concentrado de
10 minério de ferro é reduzido e se funde quando a temperatura alcança entre 1450°C a 1500°C. Os produtos resultantes são resfriados e então descarregados. Os produtos resfriados geralmente incluem pepitas de ferro metálico do tamanho de pelotas e escória que são quebradas e separadas. Por exemplo, tais pepitas de ferro metálico produzidas por tal processo têm tipicamente um tamanho de cerca de 6,40 mm a 9,50 mm (um quarto a três
15 oitavos de polegada) e supostamente analisadas para incluir cerca de 96% até cerca de 97% de Fe metálico e cerca de 2,5% a cerca de 3,5% de carbono. Por exemplo, uma ou mais modalidades de tal método estão descritas na Patente U.S. nº 6.036.744 para Negami e outros, denominada "Method
20 and apparatus for making metallic iron", emitida em 14 de março de 2000, e a Patente U.S. nº 6.506,231 para Negami e outros, denominada "Method and apparatus for making metallic iron", emitida em 14 de janeiro de 2003.

Além disso, um outro processo de pepitas de ferro metálico foi também supostamente usado para produzir ferro metálico. Por exemplo,
25 nesse processo, uma camada de antracita pulverizada é espalhada sobre uma soleira e é feito ali um padrão regular de ondulações. Então, uma camada de uma mistura de minério de ferro e de carvão é colocada ali e aquecida até 1500°C. O minério de ferro é reduzido para ferro metálico, fundido, e coletado nas ondulações como seixos de ferro e escória. Então, os seixos de
30 ferro e a escória são quebrados e separados. Uma ou mais modalidades de tal processo estão descritas na Patente U.S. nº 6.270.552 para Takeda e outros, denominada "Rotary hearth furnace for reducing oxides, and method

for operating the furnace", emitida em 7 de agosto de 2001. Além disso, por exemplo, várias modalidades desse processo (referido como processo Hi-QIP) que utiliza a formação de depressões em forma de copo em um material de redução sólido para obter um metal reduzido estão descritas na
5 Patente U.S. nº 6.126.718 para Sawa e outros.

Tais processos de formação de pepitas de ferro metálico, portanto, envolvem a mistura de materiais ferrosos e carvão pulverizado (por exemplo, um redutor carbonáceo). Por exemplo, com ou sem a formação de bolas, a mistura de minério de ferro/carvão é alimentada a um forno de soleira
10 ra (por exemplo, um forno de soleira rotativa) e aquecido a uma temperatura supostamente 1450°C a aproximadamente 1500°C para formar ferro reduzido diretamente fundido (isto é, pepitas de ferro metálico) e escória. O ferro metálico e a escória podem então ser separados, por exemplo, com o uso de ação mecânica suave ou técnicas de separação magnética.

Outros processos de redução para produção de ferro reduzido estão descritos, por exemplo, na Patente U.S. nº 6.210.462 para Kikuchi e outros, denominada "Method and apparatus for making metallic iron", emitida em 3 de abril de 2001 e na Patente U.S. Application nº US2001/0037703 A1 para Fuji e outros, denominada "Method for producing reduced iron", publi-
20 cada em 8 de novembro de 2001. Por exemplo, a Patente U.S. nº 6.210.462 para Kikuchi e outros descreve um método em que uma moldagem preliminar de bolas não é necessária para formar ferro metálico.

Entretanto, há várias preocupações em relação a tais processos de pepitas de ferro. Por exemplo, uma preocupação principal de um ou mais desses processos envolve a prevenção da reação da escória com o refratário da soleira durante tal processamento. Tal preocupação pode ser resolvida colocando-se uma camada de coque pulverizado ou outro material carbonáceo no refratário da soleira para evitar que a penetração da escória reaja com o refratário da soleira.

30 Uma outra preocupação em relação a tais processos de produção de pepitas de ferro metálico é que são necessárias temperaturas muito altas para completar o processo. Por exemplo, conforme relatado, tais tem-

peraturas estão na faixa de 1450°C até cerca de 1500°C. Isto é geralmente considerado bastante alto quando comparado com a peletização da taconita realizada a temperaturas na faixa de cerca de 1288°C até cerca de 1316°C. Tais altas temperaturas afetam adversamente os refratários do forno, os custos de manutenção, e as necessidades de energia.

Ainda outro problema é que o enxofre é uma impureza principalmente indesejável no aço. Entretanto, redutores carbonáceos utilizados nos processos de formação de pepitas de ferro metálico geralmente incluem enxofre resultando por isso uma impureza nas pepitas formadas.

Além disso, pelo menos nos processos ITmk3, é empregado um processo de formação anterior de uma bola utilizando um aglutinante. Por exemplo, o minério de ferro é misturado com carvão pulverizado como um aglutinante, arredondado, e então aquecido. Tal etapa de pré-processamento (por exemplo, formação de bolas) que utiliza aglutinantes adiciona um custo indesejável ao processo de produção de pepitas de ferro metálico.

Ainda além disso, vários processos de produção de aço preferem certos tamanhos de pepita. Por exemplo, operações do forno que empregam práticas de carregamento de sucata convencionais parecem ser melhor alimentadas com pepitas de ferro de tamanho grande. Outras operações que empregam sistemas de injeção direta para materiais de ferro indicam que uma combinação de tamanhos pode ser importante para suas operações.

Um método de produção de pepitas de ferro metálico previamente descrito que começa com alimentação de bolas, usa minério de ferro arredondado com um tamanho máximo de aproximadamente 19,05 mm (três quartos de polegada) de diâmetro das bolas secas. Essas bolas encolhem para pepitas de ferro até um tamanho de cerca de 9,525 mm (três oitavos de polegada) através da perda de oxigênio do ferro durante o processo de redução, pela perda de carvão pela gaseificação, com perda de peso devido à transformação da ganga e cinzas em escória, e com a perda de porosidade. Pepitas de tal tamanho, em muitas circunstâncias, podem não fornecer as

vantagens associadas com pepitas maiores que são desejáveis em certas operações de forno.

Sumário da Invenção

Os métodos e sistemas conforme a presente invenção fornecem
5 uma ou várias vantagens nos processos de redução, por exemplo, a produção de pepitas de ferro metálico. Por exemplo, tais métodos e sistemas podem fornecer o controle do tamanho da pepita de ferro (por exemplo, usando-se amontoados da mistura de alimentação com canais pelo menos parcialmente cheios de material carbonáceo), podem fornecer o controle da formação de micropepitas (por exemplo, com o tratamento das camadas de
10 material da soleira), pode fornecer o controle do enxofre nas pepitas de ferro (por exemplo, com a adição de um agente fluxo a ser adicionado à mistura), etc.

Uma modalidade de um método para uso na produção de pepitas de ferro metálico conforme a presente invenção inclui o fornecimento de
15 uma soleira incluindo material refratário e fornecendo uma camada do material de soleira no material refratário (por exemplo, a camada do material da soleira inclui pelo menos material carbonáceo ou material carbonáceo revestido com Al(OH)_3 , CaF_2 ou uma combinação de Ca(OH)_3 e CaF_2). Uma camada de uma mistura redutível é fornecida em pelo menos uma parte da
20 camada de material da soleira (por exemplo, a mistura redutível inclui pelo menos um material de redução e um material contendo ferro). Uma pluralidade de aberturas de canais se estende pelo menos parcialmente na camada da mistura redutível para definir uma pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas (por exemplo, uma ou mais da pluralidade de
25 regiões de material redutível formador de pepitas podem incluir um amontoado da mistura redutível que inclua pelo menos uma parte curva ou inclinada, tal como um amontoado em forma de abóbada ou um amontoado em forma de pirâmide da mistura redutível). A pluralidade de aberturas de canais são pelo menos parcialmente cheias com material de separação de pepitas (por exemplo, o material de separação de pepitas inclui pelo menos
30 material carbonáceo). A camada da mistura redutível é tratada termicamente

para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico (por exemplo, pepitas de ferro metálico que incluem um comprimento máximo através da seção transversal máxima que seja maior que cerca de 6,40 mm (0,25 polegada) e menos de cerca de 102 mm (4,0 polegadas) em uma ou mais da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas (por exemplo, formação de uma única pepita de ferro metálico em cada uma ou em mais de uma da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas).

Em várias modalidades, a camada de uma mistura redutível pode ser uma camada de microaglomerados redutíveis (por exemplo, em que pelo menos 50 por cento da camada da mistura redutível compreende microaglomerados tendo um tamanho médio de cerca de 2 milímetros ou menos), ou pode ser uma camada de compactos (por exemplo, briquetes, briquetes parciais, amontoados compactados, perfis de compactação formados em camadas de material redutível, etc.).

Ainda também a camada da mistura redutível na camada do material da soleira pode incluir camadas múltiplas em que o tamanho médio dos microaglomerados redutíveis de pelo menos uma camada fornecida é diferente em relação ao tamanho médio dos microaglomerados fornecidos previamente (por exemplo, o tamanho médio dos microaglomerados redutíveis de pelo menos uma das camadas fornecidas é menor que o tamanho médio dos microaglomerados da primeira camada fornecida na camada de material da soleira).

Em adição, uma quantidade estequiométrica de material de redução é a quantidade necessária para a completa metalização e a formação de pepitas de ferro metálico a partir de uma quantidade determinada de material contendo ferro. Em uma ou mais modalidades do método, o fornecimento da camada de uma mistura redutível na camada de material da soleira que inclui uma quantidade determinada de material contendo ferro e entre cerca de 70 por cento e cerca de 90 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para sua completa metalização, e o fornecimento de mais camadas adicionais da mistura redutível que inclui uma quantidade determinada de material contendo ferro e

entre cerca de 105 por cento e cerca de 140 por cento da mencionada quantidade estequiométrica do material redutível necessário para a sua metalização completa.

Em ainda outra modalidade do método, tratar-se termicamente a
5 camada de mistura redutível inclui tratar termicamente a camada de mistura redutível a uma temperatura de menos de 1450 graus centígrados de forma que a mistura redutível nas regiões de material redutível formador de pepitas provocam o encolhimento e a separação de outras regiões adjacentes de material redutível formador de pepitas. Mais preferivelmente, a temperatura
10 é de menos de 1400°C; ainda mais preferivelmente está abaixo de 1390°C; ainda mais preferivelmente está abaixo de 1375°C; e mais preferivelmente ainda a temperatura está abaixo de 1350°C.

Ainda além disso, em uma ou mais modalidades do método, a mistura redutível pode também incluir pelo menos um aditivo selecionado do
15 grupo consistindo em óxido de cálcio, um ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio pela sua decomposição térmica (por exemplo, pedra calcária), óxido de sódio, e um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio pela sua decomposição térmica. Em adição, em uma ou mais modalidades, a mistura redutível pode incluir soda de barrilha, Na_2CO_3 ,
20 NaHCO_3 , NaOH , bórax, NaF , e/ou escória da indústria de fusão de alumínio. Ainda também uma ou mais modalidades da mistura redutível podem incluir pelo menos um agente de fluxo selecionado do grupo consistindo em espato-flúor, CaF_2 , bórax, NaF e escória da indústria de fusão de alumínio.

Um outro método para uso na produção de pepitas de ferro metálico conforme a presente invenção inclui o fornecimento de uma soleira
25 que inclui um material refratário e o fornecimento de uma camada de material da soleira no material refratário (por exemplo, a camada do material da soleira pode incluir pelo menos material carbonáceo). Uma camada de microaglomerados redutíveis é fornecida em pelo menos uma parte da camada
30 do material da soleira, em que pelo menos 50 por cento da camada de microaglomerados redutíveis compreende microaglomerados tendo um tamanho médio de cerca de 2 milímetros ou menos. Os microaglomerados redutíveis

veis são formados de pelo menos material redutível e material contendo ferro. A camada de microaglomerados redutíveis é tratada termicamente para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico.

Em uma ou mais modalidades do método, a camada de microaglomerados redutíveis é fornecida por uma primeira camada de microaglomerados redutíveis na camada de material da soleira e pelo fornecimento de uma ou mais camadas adicionais de microaglomerados redutíveis na primeira camada. O tamanho médio dos microaglomerados redutíveis de pelo menos uma das camadas adicionais fornecidas é diferente em relação ao tamanho médio dos microaglomerados fornecidos previamente (por exemplo, o tamanho médio dos microaglomerados de pelo menos uma das camadas adicionais fornecidas é menor que o tamanho médio dos microaglomerados da primeira camada).

Além disso, em uma ou mais modalidades do método, a primeira ou camada de microaglomerados redutíveis na camada de material da soleira inclui uma quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 70 e cerca de 90 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a sua completa metalização, e as camadas adicionais fornecidas de microaglomerados redutíveis incluem uma quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 105 por cento e cerca de 140 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para sua completa metalização.

Ainda também, em uma ou mais modalidades do método, o fornecimento da camada de microaglomerados redutíveis inclui a formação de microaglomerados redutíveis usando-se pelo menos água, material de redução, material contendo ferro, e um ou mais aditivos selecionados do grupo consistindo em óxido de cálcio, um ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio pela sua decomposição térmica, óxido de sódio, e um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio pela sua decomposição térmica. Além disso, os microaglomerados podem incluir pelo menos um aditivo selecionado do grupo consistindo em soda de barrilha, Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH , bórax, NaF , e escória da indústria de fusão do alumínio ou pelo

menos um agente de fluxo selecionado do grupo consistindo em espatoflúor, CaF_2 , bórax, NaF , e escória da indústria de fusão do alumínio.

Em uma modalidade preferida, é fornecido um método para uso na produção de pepitas de ferro metálico compreendendo as etapas de: fornecer uma soleira compreendendo material refratário; fornecer uma camada de material da soleira no material refratário, a camada de material da soleira compreendendo pelo menos material carbonáceo revestido com um entre os materiais $\text{Al}(\text{OH})_3$, CaF_2 , ou a combinação de $\text{Ca}(\text{OH})_3$ e CaF_2 ; fornecer uma camada de uma mistura redutível em pelo menos uma parte da camada de material da soleira, pelo menos uma parte da mistura redutível compreendendo pelo menos material de redução e material contendo ferro; a mistura redutível compreendendo pelo menos um aditivo selecionado do grupo consistindo em óxido de cálcio, um ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio pela sua decomposição térmica, óxido de sódio, e um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio pela sua decomposição térmica; formando uma pluralidade de aberturas de canais estendendo-se pelo menos parcialmente na camada da mistura redutível para definir uma pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas tendo uma densidade menor que cerca de 2,4; encher pelo menos parcialmente a pluralidade de aberturas de canais com material de separação de pepitas compreendendo pelo menos material carbonáceo; e tratando termicamente a camada de mistura redutível a uma temperatura de menos de 1450°C para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico em uma ou mais da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas.

Ainda outro método para uso na produção de pepitas de ferro metálico conforme a presente invenção inclui o fornecimento de uma soleira que inclui material refratário e o fornecimento de uma camada de material da soleira em pelo menos uma parte do material refratário (por exemplo, a camada de material da soleira pode incluir pelo menos material carbonáceo). Uma mistura redutível é fornecida em pelo menos uma parte da camada de material da soleira (por exemplo, a mistura redutível inclui pelo menos material de redução e material contendo ferro). Uma quantidade estequiométrica

de material de redução é a quantidade necessária para a completa metalização e formação de pepitas de ferro metálico a partir de uma quantidade predeterminada de material contendo ferro. Em uma modalidade, o fornecimento da mistura redutível no material da soleira inclui o fornecimento de uma primeira porção de mistura redutível na camada de material da soleira que inclui uma quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 70 e cerca de 90 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a sua completa metalização, e fornecer uma ou mais porções adicionais de mistura redutível que compreende uma quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 105 por cento e cerca de 140 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a sua completa metalização. A mistura redutível é tratada termicamente para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico. Para certas aplicações, a camada de soleira não deve ser usada, ou a camada de soleira não deve conter qualquer material carbonáceo.

Em uma modalidade do método, uma pluralidade de aberturas de canais se estende pelo menos parcialmente na mistura redutível e definem uma pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas, e também em que as aberturas de canais são pelo menos parcialmente cheias de material de separação de pepitas.

Em ainda outra modalidade do método, o fornecimento da primeira porção de uma mistura redutível na camada de material de soleira inclui o fornecimento de uma primeira camada de microaglomerados redutíveis na camada de material de soleira e em que o fornecimento de uma ou mais porções inclui o fornecimento de uma ou mais camadas adicionais de microaglomerados redutíveis na primeira camada, em que o tamanho médio dos microaglomerados redutíveis de pelo menos uma das camadas adicionais fornecidas é diferente em relação ao tamanho médio dos microaglomerados previamente fornecidos.

Em outra modalidade, o fornecimento de uma mistura redutível na camada de material de soleira inclui o fornecimento de compactos de

mistura redutível. Por exemplo, uma primeira porção de cada um ou mais dos compactos inclui uma quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 70 por cento e cerca de 90 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para sua completa metalização, e uma ou mais porções adicionais de cada um ou mais compactos inclui uma quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 105 por cento e cerca de 140 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para sua completa metalização.

10 Também ainda em outra modalidade do método, os compactos podem incluir pelo menos um entre briquetes (por exemplo, briquetes de três camadas), briquetes parciais (por exemplo, duas camadas de mistura redutível compactada), bolas, amontoados compactos da mistura redutível compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada, amontoados da
15 mistura redutível em forma de abóbada, e amontoados da mistura redutível em forma de pirâmide. Em uma modalidade preferida, os briquetes parciais compreendem briquetes completos cortados ao meio. A mistura redutível pode até mesmo ser de múltiplas camadas de bolas de mistura redutível. Em uma modalidade, os amontoados têm uma densidade de cerca de 1,9-2, as
20 bolas têm uma densidade de cerca de 2,1 e os briquetes têm uma densidade de cerca de 2,1. Em uma modalidade, o material redutível tem uma densidade de menos de cerca de 2,4. Em uma modalidade preferida, o material redutível tem uma densidade entre cerca de 1,4 e 2,2.

Também ainda um outro método para uso na produção de pepi-
25 tas de ferro metálico está aqui descrito. O método inclui o fornecimento de uma soleira que inclui material refratário e o fornecimento de uma camada de material de soleira em pelo menos uma parte do material refratário. A camada de material de soleira inclui pelo menos material carbonáceo. A mistura redutível é fornecida em pelo menos uma parte da camada de mate-
30 rial de soleira. A mistura redutível inclui: material de redução; material contendo ferro; um ou mais aditivos selecionados do grupo consistindo em óxido de cálcio, um ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio pela

sua decomposição térmica, óxido de sódio, um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio pela sua decomposição térmica; e pelo menos um agente de fluxo selecionado do grupo consistindo em espatoflúor, CaF_2 , bórax, NaF , e escória da indústria de fusão de alumínio. A mistura redutível
 5 é tratada termicamente (por exemplo, a uma temperatura de menos de cerca de 1450 graus centígrados) para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico.

Em uma ou mais modalidades do método, a mistura redutível pode incluir pelo menos um aditivo selecionado do grupo consistindo em óxido de cálcio e pedra calcária. Em outras modalidades do método, a mistura redutível pode incluir pelo menos um aditivo selecionado do grupo consistindo em soda de barrilha, Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH , bórax, NaF , e escória da indústria de fusão de alumínio. Também a camada de material de soleira pode incluir material carbonáceo revestido com $\text{Al}(\text{OH})_3$, CaF_2 ou a combinação de $\text{Ca}(\text{OH})_3$ e CaF_2 .
 10
 15

Também em uma ou mais modalidades do método, a mistura redutível pode incluir um ou mais amontoados de mistura redutível incluindo pelo menos uma parte curva ou inclinada; pode incluir microaglomerados redutíveis ou suas camadas múltiplas tendo composições diferentes; pode
 20 incluir compactos tais como briquetes, briquetes parciais, bolas, amontoados compactos da mistura redutível compreendendo pelo menos uma parte curva ou inclinada, amontoados da mistura redutível compactados em forma de abóbada, e amontoados da mistura redutível compactados em forma de pirâmide; ou pode incluir bolas (por exemplo, bolas secas) ou múltiplas camadas de bolas.
 25

Um sistema para uso na produção de pepitas de ferro metálico está também descrito aqui. Por exemplo, uma modalidade de um sistema conforme a presente invenção pode incluir uma soleira compreendendo um material refratário para receber uma camada de material de soleira (por exemplo, a camada de material de soleira pode incluir pelo menos material carbonáceo) e um equipamento de carga que pode ser operado para fornecer uma camada de mistura redutível em pelo menos uma parte da camada
 30

de material de soleira. A mistura redutível pode incluir pelo menos material de redução e material contendo ferro. O sistema também inclui um dispositivo de definição de canal que pode ser operado para criar uma pluralidade de aberturas de canais que se estendem pelo menos parcialmente na camada da mistura redutível para definir uma pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas e um equipamento de enchimento dos canais que pode ser operado para encher pelo menos parcialmente a pluralidade de aberturas de canais com material de separação de pepitas (por exemplo, o material de separação de pepitas pode incluir pelo menos material carbonáceo). É também fornecido um forno que pode ser operado para tratar termicamente a camada de mistura redutível para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico em uma ou mais da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas.

Em uma ou mais modalidades do sistema, o dispositivo de definição de canal pode ser operado para criar amontoados da mistura redutível que incluem pelo menos uma parte curva ou inclinada (por exemplo, criar amontoados da mistura redutível em forma de abóbada ou amontoados em forma de pirâmide).

Ainda em outro método para uso na produção de pepitas de ferro metálico, o método inclui o fornecimento de uma camada de soleira incluindo material refratário e o fornecimento de uma camada de material de soleira (por exemplo, pelo menos material carbonáceo) em pelo menos uma porção do material refratário. A mistura redutível é fornecida em pelo menos uma parte da camada de material de soleira. A mistura redutível inclui pelo menos material de redução e material contendo ferro. A quantidade estequiométrica de material de redução é a quantidade necessária para a completa metalização e formação de pepitas de ferro metálico a partir de uma quantidade predeterminada de material contendo ferro. Pelo menos uma parte da mistura redutível inclui a quantidade predeterminada de material contendo ferro e entre cerca de 70 por cento e cerca de 90 por cento da mencionada quantidade estequiométrica de material de redução necessária para completar a sua metalização. O método também inclui tratar termicamente a mistura

redutível para formar uma ou mais pepitas de ferro metálico.

Em uma modalidade do método, o fornecimento de mistura redutível em pelo menos uma parte da camada de material de soleira inclui o fornecimento de uma ou mais camadas de mistura redutível na camada de material de soleira. É definida uma pluralidade de aberturas de canais que se estendem pelo menos parcialmente na camada da mistura redutível e definem uma pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas. Além disso, as aberturas de canais são pelo menos parcialmente cheias com material de separação de pepitas, (por exemplo, material carbonáceo).

10 Também, em uma ou mais modalidades do método, a mistura redutível pode incluir um ou mais amontoados de mistura redutível incluindo pelo menos uma parte curva ou inclinada; pode incluir microaglomerados redutíveis ou suas camadas múltiplas tendo diferentes composições; pode incluir compactos tais como briquetes (por exemplo, briquetes de camada
15 única ou de múltiplas camadas), briquetes parciais, bolas amontoados compactos da mistura redutível compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada, amontoados compactos da mistura redutível em forma de abóbada, e amontoados compactos da mistura redutível em forma de pirâmide; ou pode incluir bolas (por exemplo, bolas secas) ou bolas em camadas múltiplas.
20

Também em uma ou mais modalidades do método, a mistura redutível pode incluir um ou mais aditivos selecionados do grupo consistindo em óxido de cálcio, um ou mais compostos capazes de produzir óxido pela sua decomposição térmica, óxido de sódio, e um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio pela sua decomposição térmica. Além disso,
25 a mistura redutível pode incluir pelo menos um aditivo selecionado do grupo consistindo em soda de barrilha, Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH , bórax, NaF , e escória da indústria de fusão de alumínio ou pelo menos um agente de fluxo selecionado do grupo consistindo em espatoflúor, CaF_2 , bórax, NaF e a escória da indústria de fusão de alumínio.
30

Também, uma modalidade do método pode incluir o fornecimento de compactos, e ainda também fornecer material de redução adicional

adjacente a pelo menos uma parte dos compactos.

Em uma outra modalidade da invenção, é fornecida uma mistura redutível compreendendo: material de redução; material contendo ferro; um ou mais aditivos selecionados do grupo consistindo em óxido de cálcio, um
5 ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio pela sua decomposição térmica, óxido de sódio, e um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio pela sua decomposição térmica; e pelo menos um agente de fluxo selecionado do grupo consistindo em espatoflúor, CaF_2 , bórax, NaF , e escória da indústria de fusão de alumínio.

10 O resumo acima da presente invenção não pretende descrever cada modalidade ou todas as implementações da presente invenção. As vantagens, juntamente com um entendimento mais completo da invenção, tornar-se-ão aparentes e apreciadas em relação à descrição detalhada a seguir e às reivindicações tomadas em conjunção com os desenhos anexos.

15 Breve Descrição dos Desenhos

A figura 1 apresenta um diagrama de blocos de uma ou mais modalidades gerais de um processo de pepitas de ferro metálico conforme a presente invenção.

20 A figura 2A é um diagrama de blocos generalizado de um sistema de forno para implementação de um processo de pepita de ferro metálico tal como o apresentado geralmente na figura 1 conforme a presente invenção.

25 As figuras 2B-2D são diagramas de dois fornos de laboratório (por exemplo, um forno de tubos e um forno tipo caixa, respectivamente) e um forno de soleira linear que pode ser usado para executar um ou mais dos processos descritos aqui, tais como o processamento empregado em um ou mais exemplos aqui descritos.

30 As figuras 3A-3C são vistas de seções transversais generalizadas e as figuras 3D-3E são vistas de topo generalizadas mostrando estágios de uma modalidade de um processo de pepitas de ferro metálico conforme mostrado geralmente na figura 1 de acordo com a presente invenção.

As figuras 4A-4D mostram ilustrações do efeito do tempo na

formação de pepitas metálicas em um processo de pepitas de ferro metálico tal como o apresentado geralmente na figura 1.

As figuras 5A-5B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal, respectivamente, de uma modalidade das aberturas de canais em uma camada da mistura redutível para um processo de pepitas de ferro metálico tal como mostrado geralmente na figura 1.

As figuras 6A-6B apresentam uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal, respectivamente, de uma modalidade alternativa das aberturas de canais em uma camada de mistura redutível para uso em um processo de pepitas de ferro metálico tal como o mostrado geralmente na figura 1.

As figuras 7A-7B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal, respectivamente, de ainda uma outra modalidade alternativa das aberturas de canais em uma camada de mistura redutível para uso em um processo de pepitas de ferro metálico tal como o mostrado geralmente na figura 1.

As figuras 8A-8B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal, respectivamente, de uma modalidade de um dispositivo de formação de canais em um processo de pepitas de ferro metálico tal como mostrado geralmente na figura 1.

As figuras 9A-9B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal, respectivamente, de outra modalidade de um dispositivo de formação de canais para uso em um processo de pepitas de ferro metálico conforme mostrado geralmente na figura 1.

As figuras 10A-10B mostram vistas laterais da seção transversal de outras modalidades de um dispositivo de formação de canais para uso em um processo de pepitas de ferro metálico conforme apresentado geralmente na figura 1.

As figuras 10C-10E mostram vistas laterais de outras modalidades das técnicas de formação de misturas redutíveis para uso em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico.

As figuras 11A-11B mostram bolas preformadas da mistura redu-

tível para uso em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico, em que a figura 11A apresenta uma mistura redutível de múltiplas camadas de bola e também a figura 11B mostra a seção transversal de múltiplas camadas de bolas tendo camadas de diferentes composições.

5 As figuras 11C-11D mostram modalidades de exemplo da formação de dispositivos para uso no fornecimento de compactos (por exemplo, briquetes) de mistura redutível para uso em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico, em que a figura 11C mostra a formação de três camadas compactas, e também em que a figura 11D mostra a formação de compactos de duas camadas.

10 As figuras 11E-11F mostram exemplos de modalidades de outros dispositivos de formação para uso no fornecimento de compactos (por exemplo, briquetes) da mistura redutível para uso em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico, em que a figura 11E
15 apresenta a formação de compactos de duas camadas, e também em que a figura 11F apresenta a formação de compactos de três camadas.

20 As figuras 12A-12C mostram um molde de 12 segmentos, equidimensional, na forma de abóbada, e também as misturas redutíveis e, bandejas de grafite para uma ou mais modalidades de exemplo de um processo de pepitas de ferro metálico conforme a presente invenção. A figura 12A apresenta o molde, a figura 12B apresenta um padrão de canais de 12 segmentos formado pelo molde da figura 12A, e a figura 12C apresenta um padrão de canais de 12 segmentos com ranhuras pelo menos parcialmente cheias com material pulverizado de separação de pepitas (por exemplo, coque).
25

 As figuras 13A-13D mostram o efeito do material de separação de pepitas em canais de acordo com uma ou mais modalidades de exemplo de um processo de pepitas de ferro metálico de acordo com a presente invenção.

30 As figuras 14A-14D e as figuras 15A-15D ilustram os efeitos dos níveis de material de separação de pepitas (por exemplo, coque) nos canais conforme uma ou mais modalidades de exemplo de um processo de pepitas

de ferro metálico de acordo com a presente invenção.

A figura 16 apresenta uma tabela das quantidades relativas de micropepitas geradas em vários processos de pepitas de ferro metálico para uso na descrição do tratamento da camada de material de soleira em uma ou mais modalidades de exemplo de um processo de pepitas de ferro metálico tal como descrito geralmente na figura 1.

A figura 17 apresenta um diagrama de blocos de uma modalidade de exemplo de um método de fornecimento de uma mistura redutível para uso em um processo de pepitas de ferro metálico tal como aquele descrito geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formem pepitas de ferro metálico.

As figuras 18-19 mostram o efeito do uso de vários níveis de adição de carvão em uma ou mais modalidades de exemplo de um processo de pepitas de ferro metálico tal como o apresentado geralmente na figura 1 conforme a presente invenção, e/ou para uso em outros processos que formam pepitas de ferro metálico.

As figuras 20A-20B mostram ilustrações para uso na descrição do efeito de vários níveis de adição de carvão em um processo de pepitas de ferro metálico tal como o apresentado geralmente na figura 1 conforme a presente invenção e/ou para uso em outros processos que formam pepitas de ferro metálico.

As figuras 21A-21B mostram um diagrama de uma fase $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ e uma tabela, respectivamente, mostrando várias composições de escória para uso ao descrever-se o uso de um ou mais aditivos para uma mistura redutível em um processo de pepita de ferro metálico tal como aquele mostrado geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formem pepitas de ferro metálico.

As figuras 22-24 mostram tabelas para uso na descrição do efeito da adição de fluoreto de cálcio ou espatoflúor a uma mistura redutível em um processo de pepitas de ferro metálico tal como o apresentado geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formam pepitas de ferro metálico.

As figuras 25A-25B, 26 e 27 mostram ilustrações, uma tabela e outra tabela, respectivamente, para uso na demonstração do efeito dos aditivos Na_2CO_3 e CaF_2 a uma mistura redutível em relação ao controle dos níveis de enxofre em uma ou mais modalidades de exemplo de um processo de pepitas de ferro metálico tal como aquele mostrado geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formem pepitas de ferro metálico.

A figura 28 mostra um diagrama de blocos de uma modalidade de um processo de formação de microaglomerados para uso no fornecimento de uma mistura redutível para um processo de pepitas de ferro metálico tal como aquele apresentado geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formem pepitas de ferro metálico.

A figura 29 é um gráfico apresentando o efeito do teor de umidade na distribuição de tamanhos dos microaglomerados tais como aqueles formados conforme o processo da figura 28.

A figura 30 mostra uma tabela descrevendo as velocidades finais de microaglomerados tais como aqueles formados conforme o processo apresentado na figura 28 em função do tamanho e da velocidade do ar.

As figuras 31A-31B mostram ilustrações do efeito do uso de misturas redutíveis de microaglomerados em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico tal como o descrito geralmente na figura 1.

As figuras 32A-32C apresentam tabelas dando a análise de vários materiais carbonáceos de redução que podem ser usados em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico tal como o descrito geralmente na figura 1 e/ou para uso em outros processos que formam pepitas de ferro metálico.

A figura 32D mostra uma tabela dando a análise das cinzas de vários materiais carbonáceos de redução que podem ser usados em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico tal como aquele descrito geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formam pepitas de ferro metálico.

A figura 33 mostra uma tabela dando as composições químicas

de um ou mais minérios que podem ser usados em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico tal como o descrito geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formem pepitas de ferro metálico.

5 A figura 34 mostra uma tabela dando as composições químicas de um ou mais aditivos que podem ser usados em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico tal como o descrito geralmente na figura 1, e/ou para uso em outros processos que formem pepitas de ferro metálico.

10 As figuras 35A e 35B mostram um estrado com um arranjo de diferentes misturas de alimentação para uso na descrição de um ou mais testes empregando um forno de soleira linear conforme mostrado na figura 2D, e o produto resultante de um teste típico.

15 A figura 36 é uma tabela apresentando os resultados analíticos dos gases do forno para uso na descrição de um ou mais testes empregando-se um forno de soleira linear tal como o mostrado na figura 2D.

 A figura 37 é um gráfico mostrando as concentrações de CO em várias zonas de um forno de soleira linear como aquele mostrado na figura 2D para uso na descrição de um ou mais testes empregando tal forno.

20 A figura 38 é uma tabela mostrando o efeito de uma composição de escória em um processo de redução para uso na descrição de um ou mais testes empregando-se um forno de soleira linear tal como o mostrado na figura 2D.

25 A figura 39 é uma tabela mostrando os resultados analíticos das pepitas de ferro e das escórias para uso na descrição de um ou mais testes empregando um forno de soleira linear tal como o mostrado na figura 2D.

 A figura 40 é uma tabela mostrando o efeito da temperatura em um processo de redução para uso na descrição de um ou mais testes empregando um forno de soleira linear tal como o mostrado na figura 2D.

30 A figura 41 é uma tabela mostrando os efeitos da adição de carvão e espatoflúor, e também da temperatura do forno, na formação de micropepitas no processo de redução para uso na descrição de um ou mais

testes empregando-se um forno de soleira linear tal como o mostrado na figura 2D.

Descrição Detalhada das Modalidades

Uma ou mais modalidades da presente invenção serão descritas
5 geralmente com referência às figuras 1-4. Várias outras modalidades da presente invenção e exemplos que sustentam tais várias modalidades serão então descritas com referência às figuras 5-41.

Será aparente para os versados na técnica que elementos ou etapas de processo de uma ou mais modalidades aqui descritas podem ser
10 usados em combinação com elementos ou etapas de processo de uma ou mais outras modalidades aqui descritas, e que a presente invenção não está limitada às modalidades específicas aqui fornecidas mas apenas ao apresentado nas reivindicações anexas. Por exemplo, e não para ser considerado como limitativo da presente invenção, a adição de um ou mais aditivos
15 (por exemplo, espatoflúor) à mistura de redução pode ser usada em combinação com o fornecimento da mistura redutível como microaglomerados, o material de separação das pepitas nos canais pode ser usado em combinação com o fornecimento de mistura redutível como microaglomerados, o processo de moldagem para a formação dos canais e amontoados da
20 mistura redutível pode ser usado em combinação com o material de separação de pepitas nos canais e/ou com o fornecimento da mistura redutível como microaglomerados, etc.

Além disso, vários processos de pepitas de ferro metálico são conhecidos e/ou foram descritos em uma ou mais referências. Por exemplo,
25 tais processos incluem o processo ITmk3 conforme apresentado, por exemplo, na Patente U.S. nº 6.036.744 para Negami e outros e/ou na Patente U.S. nº 6.506.231 para Negami e outros; o processo Hi-QIP conforme apresentado, por exemplo, na Patente U.S. nº 6.270.552 para Takeda e outros e/ou Patente U.S. nº 6.126.718 para Sawa e outros; ou outros processos de
30 pepitas metálicas conforme descrito, por exemplo, na Patente U.S. nº 6.210.462 para Kikuchi e outros, na Patente U.S. Application nº US2001/0037703 A1 para Fuji e outros, e na Patente U.S. nº 6.210.462 para

Kikuchi e outros. Uma ou mais modalidades aqui descritas podem ser usadas em combinação com elementos e/ou etapas de processos de uma ou mais modalidades de tal processo de pepita metálica. Por exemplo, e não para ser considerado como limitativo da presente invenção, a adição de um ou mais aditivos (por exemplo, espatoflúor) à mistura redutível e/ou a qualquer mistura redutível aqui descrita pode ser usada em combinação com o fornecimento da mistura redutível como bolas preformadas, como a mistura redutível usada para encher as ondulações em uma camada carbonácea pulverizada, como parte de um ou mais compactos (por exemplo, briquetes), ou pode ser usada em uma ou mais outras várias técnicas de moldagem como parte de tais processos de formação de pepitas de ferro metálico. Como tal, os conceitos e as técnicas descritos em uma ou mais modalidades aqui não são limitados ao uso apenas com o processo de pepitas de ferro metálico descrito aqui geralmente em relação à figura 1, mas podem ser aplicáveis também a vários outros processos.

A figura 1 mostra um diagrama de blocos de uma ou mais modalidades ilustrativas de um processo de pepita de ferro metálico conforme a presente invenção. O processo de pepitas de ferro metálico mostrado no diagrama de blocos será descrito em relação a uma modalidade mais detalhada mostrada nas figuras 3A-3E e nas figuras 4A-4D. Uma pessoa versada na técnica reconhecerá que uma ou mais das etapas do processo descrito em relação ao processo de pepitas de ferro metálico podem ser opcionais. Por exemplo, os blocos 16, 20 e 26 são rotulados como sendo opcionalmente fornecidos. Entretanto, outras etapas de processo aqui descritas, por exemplo, o fornecimento de aberturas de canais conforme descrito em relação ao bloco 22, podem também ser opcionais em uma ou mais modalidades. Como tal, será reconhecido que o processo de pepitas de ferro metálico 10 é uma modalidade ilustrativa genérica e a presente invenção não é limitada a qualquer processo específico das modalidades aqui descritas, mas apenas conforme descrito nas reivindicações anexas.

A presente invenção conforme será descrito em outros detalhes aqui pode ser usada, por exemplo, para fornecer um ou mais dos benefícios

ou características a seguir. Por exemplo, a presente invenção pode ser usada para controlar o tamanho das pepitas de ferro metálico conforme descrito aqui. Bolas secas convencionais como misturas de alimentação levam a pepitas de ferro de tamanhos pequenos, da ordem de 9,50 mm (3/8 de polegadas). O uso de amontoados da mistura redutível (por exemplo, amontoados com a forma trapezoidal ou de abóbada com canais parcialmente cheios com material carbonáceo) pode aumentar o tamanho da pepita de ferro até um tamanho da ordem de 102 mm (4 polegadas). Várias formas de amontoados (por exemplo, amontoados trapezoidais) podem requerer um tempo maior para formar pepitas de ferro totalmente fundidas do que amontoados na forma de abóbada de mesmo tamanho.

Além disso, por exemplo, a microaglomeração pode ser usada para minimizar as perdas por poeira em fornos de alimentação (por exemplo, fornos de soleira rotativos ou lineares); os microaglomerados podem ser colocados em camadas sobre uma camada de soleira em relação ao tamanho, composição da alimentação (por exemplo, a porcentagem estequiométrica de carvão pode variar), etc.; e a compactação das misturas de alimentação após a colocação das mesmas em uma camada de soleira (ou, em uma ou mais modalidades, compactação antes da colocação na soleira, tal como para formar briquetes incluindo uma ou mais camadas) pode ser desejável em vista do alto teor de CO_2 e atmosferas altamente turbulentas do gás do forno, particularmente em um forno de soleira linear conforme descrito aqui.

Também, por exemplo, a presente invenção pode ser usada para controlar a formação de micropepitas. Conforme descrito aqui, o uso de carvão em excesso além da necessidade estequiométrica para metalização de uma mistura de alimentação redutível, e o uso de tempo em excesso além de uma composição de escória predeterminada (por exemplo, uma Composição de escória (L)) para a mistura de alimentação, levou a uma quantidade aumentada de micropepitas.

Conforme também descrito aqui, por exemplo, a Composição de Escória (L), conforme mostrado no diagrama da fase $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ da figura 21A e na tabela da figura 21B, está localizado na sua baixa temperatu-

ra de fusão. Além disso, outras composições de escória são mostradas no diagrama da fase $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ da figura 21A que indica as composições de escória de (A), (L), (L_1), e (L_2). Entretanto, a presente invenção não é limitada a qualquer composição de escória em particular. Por simplicidade, a descrição aqui usa a Composição de Escória (L) definida em muitos casos, e as abreviações relativas à mesma, para definir os conceitos gerais da invenção.

As composições de escória são abreviadas indicando-se a quantidade de cal adicional usada em porcentagem como um sufixo, por exemplo, (L_1) e (L_2) que representa que 1% e 2% em peso de cal foram adicionados à mistura de alimentação, respectivamente, sobre a Composição de Escória (L). Em outras palavras, a mistura de alimentação inclui 1% e 2% em peso de cal, respectivamente, a mais do que a mistura de alimentação na Composição de Escória (L). Também, por exemplo, as composições de escória são também aqui abreviadas para indicar a existência de outros elementos ou compostos na mistura de alimentação. Por exemplo, a quantidade de CaF_2 químico (abreviado para CF) adicionado em percentual é indicada como um sufixo, por exemplo, ($L_{0,5}\text{CF}_{0,25}$) representa que a mistura de alimentação inclui 0,25% em peso de CaF_2 com Composição de Escória de ($L_{0,5}$).

O uso de camadas de soleira, inclusive misturas de coque-alumina bem como coque revestido de $\text{Al}(\text{OH})_3$, pode ser feito para reduzir a formação de tais micropepitas conforme descrito aqui. Além disso, por exemplo, a adição de certos aditivos, tais como espatoflúor, à mistura de alimentação pode reduzir a quantidade de micropepitas produzidas durante o processamento da mistura de alimentação.

Também ainda, por exemplo, conforme descrito aqui, a presente invenção pode ser usada para controlar a quantidade de enxofre nas pepitas de ferro produzidas conforme a presente invenção. É prática comum na indústria do aço aumentar-se a basicidade da escória adicionando-se cal à escória sob atmosfera redutora para remover o enxofre do ferro metálico, por exemplo, em altos fornos. Aumentando-se a cal da Composição de Escória

(L) para ($L_{1,5}$) e (L_2) pode diminuir o enxofre (por exemplo, de 0,084% para apenas 0,058% e 0,050%, respectivamente, conforme descrito aqui) mas aumenta a temperatura de fusão bem como a quantidade de micropepitas geradas, conforme descrito aqui. Foi descoberto que o uso de aditivos de
 5 fluxo, tais como espatoflúor, que diminuem a temperatura de fusão da escória, diminui não apenas a temperatura de formação da pepita de ferro, mas também diminui o teor de enxofre nas pepitas de ferro, e, em particular, é eficaz na diminuição da quantidade de micropepitas.

Com a crescente adição de espatoflúor (FS), por exemplo, o enxofre nas pepitas de ferro nas Composições de Escória ($L_{1,5}FS_{0,5-4}$) e
 10 ($L_2FS_{0,5-4}$) foi firmemente reduzido para um nível baixo da ordem de 0,013% e 0,009%, respectivamente, a uma adição de espatoflúor de 4%, conforme também descrito aqui. O uso de soda de barrilha, particularmente em combinação com espatoflúor, foi eficaz na redução do teor de enxofre nas pepitas
 15 de ferro, Mas o uso de soda de barrilha tendeu a aumentar a quantidade de micropepitas também conforme descrito aqui.

Conforme mostrado no bloco 12 da figura 1, uma soleira 42 é fornecida (vide figura 3A). A soleira 42, conforme mostrado na figura 3A, pode ser qualquer soleira adequada para uso com um sistema de forno 30 (por
 20 exemplo, tal como aquele mostrado geralmente na figura 2A) que pode ser operado para uso na execução do processo de pepita de ferro metálico 10 conforme será também descrito aqui, ou um ou mais entre outros processos de pepitas metálicas que incorporam uma ou mais características aqui descritas. Por exemplo, a soleira 42 pode ser uma soleira adequada para uso
 25 em um forno de soleira rotativa, em um forno de soleira linear (por exemplo, tal como do tamanho de um estrado para tal forno conforme mostrado na figura 35 A), ou qualquer outro sistema de forno que possa ser operado para implementação do processo de pepitas metálicas.

Geralmente a soleira 42 inclui um material refratário sobre o qual
 30 o material a ser processado (por exemplo, material de alimentação) é recebido. Por exemplo, em uma ou mais modalidades, o material refratário pode ser usado para formar a soleira (por exemplo, a soleira pode ser um recipi-

ente formado de um material refratário) e/ou a soleira pode incluir, por exemplo, uma subestrutura de apoio que transporta um material refratário (por exemplo, uma soleira refratária linear).

Em uma modalidade, por exemplo, a subestrutura de apoio pode ser formada de um ou mais materiais diferentes, tais como, por exemplo, aço inoxidável, aço carbono, ou outros metais, ligas, ou suas combinações que tenham a alta temperatura necessária característica para o processamento no forno. Além disso, o material refratário pode ser, por exemplo, piso refratário, tijolo refratário, tijolo cerâmico, ou um refratário fusível. Também, por exemplo, uma combinação de piso refratário e tijolo refratário pode ser selecionada para fornecer uma proteção térmica máxima para uma subestrutura base.

Em uma modalidade da presente invenção, por exemplo, um sistema de forno de soleira linear é usado para o forno de processamento tal como descrito no Pedido de Patente Provisório U.S. nº 60/558.197 depositado em 31 de março de 2004, publicado como US20050229748 A1, e a soleira 42 é um recipiente tal como uma bandeja (por exemplo, tal como mostrado na figura 35A). Por exemplo, tal recipiente pode incluir um leito refratário relativamente fino, leve, que é apoiado em um recipiente metálico (por exemplo, uma bandeja). Entretanto, qualquer soleira adequada 42 capaz de fornecer a funcionalidade necessária para o processamento do forno pode ser usada de acordo com a presente invenção.

Com outra referência ao bloco 14 da figura 1 e à figura 3A, um material da camada de soleira 44 é fornecido na soleira 42. O material da camada de soleira 44 inclui pelo menos um material carbonáceo.

Conforme usado aqui, material carbonáceo refere-se a qualquer material contendo carbono adequado para uso como redutor carbonáceo. Por exemplo, o material carbonáceo pode incluir carvão, carvão vegetal ou coque. Além disso, por exemplo, tais redutores carbonáceos podem incluir aqueles listados e analisados nas tabelas (em termos de % em peso) mostradas nas figuras 32A-32C.

Por exemplo, conforme mostrado nas figuras 32A-32C, um ou

mais entre antracita, redutor carbonáceo betuminoso com baixa volatilidade, redutor carbonáceo betuminoso com médio volatilidade, redutor carbonáceo betuminoso com alto volatilidade, redutor carbonáceo sub-betuminoso, coque, grafite, e outros redutores carbonáceos sub-betuminosos podem, ser
5 usados para a camada de soleira 44. A figura 32D também fornece uma análise das cinzas para os redutores carbonáceos mostrados nas tabelas das figuras 32A-32C. Alguns carvões betuminosos baixo, médio e alto voláteis podem não ser adequados para uso como camadas de soleira por si próprios, mas podem ser usados como material de constituição de carvões
10 betuminosos.

O material de soleira 44 inclui uma espessura necessária para evitar que a escória penetre na camada do material de soleira 44 e entre em contato com o material refratário da soleira 42. Por exemplo, o material carbonáceo pode ser pulverizado até uma extensão tal que seja suficientemente
15 fino para evitar tal penetração da escória. Conforme será reconhecido pelo versado na técnica, o contato da escória durante o processo das pepitas de ferro metálico 10 produz danos indesejáveis ao material refratário da soleira 42 se o contato não for evitado.

Conforme mostrado no bloco 16 da figura 1, o material carbonáceo usado como parte do material de soleira 44 pode ser tratado, ou ainda
20 modificado, para fornecer uma ou mais vantagens conforme será discutido aqui. Por exemplo, o material carbonáceo da camada de material da soleira 44 pode ser revestido com hidróxido de alumínio (ou com CaF_2 ou com a combinação de Ca(OH)_3 e CaF_2) para reduzir a formação de micropepitas
25 conforme também descrito aqui. De acordo com uma ou mais modalidades particularmente vantajosas, o material da camada de soleira 44 inclui antracita, coque, carvão, ou suas misturas.

Em uma modalidade, a camada do material de soleira 44 tem uma espessura de mais de 6,40 mm (0,25 polegada) e menos de 25,4 mm
30 (1,0 polegada). Também, em ainda outra modalidade, a camada de material de soleira 44 tem uma espessura de menos de 19 mm (0,75 polegada) e mais de 9,50 mm (0,375 polegada).

Além disso, em relação ao bloco 18 da figura 1 e à figura 3A, uma camada de mistura redutível 46 é fornecida na camada de material base de soleira 44. A camada de mistura redutível inclui pelo menos um material contendo ferro e um material de redução para a produção de pepi-
5 tas de ferro metálico (por exemplo, outros materiais redutíveis seriam usados para produção de outros tipos de pepitas metálicas usando-se um ou mais processos similares tais como, por exemplo, uso de lateritas niqueladas e minérios de garnierita para pepitas de ferro-níquel).

Conforme usado aqui, materiais ferrosos incluem quaisquer ma-
10 teriais capazes de serem formados em pepitas de ferro metálico através de um processo de pepitas de ferro metálico, tal como o processo 10 descrito em relação à figura 1. Por exemplo, o material ferroso pode incluir material de óxido de ferro, concentrado de minério de ferro, material ferroso reciclá-
15 vel, dejetos de fábricas de pelotas, e finos peneirados de pelotas. Também, por exemplo, tais dejetos de fábricas de pelotas e finos peneirados de pelotas podem incluir uma quantidade substancial de hematita. Também, por exemplo, tais materiais ferrosos podem incluir concentrados de magnetita, minérios de ferro oxidados, resíduos de usinas siderúrgicas (por exemplo, poeira de altos fornos, poeira de fornos de oxigênio básico (BOF) e carepa
20 de usina), lama vermelha do processamento de bauxita, areias ferrosas à base de titânio, minérios de ferro manganíferos, dejetos de usina de alumina, ou minérios de ferro oxidado à base de níquel.

Pelo menos em uma modalidade, tal material ferroso é moído até um tamanho de -0,149 mm (-100 mesh) ou menos para processamento
25 conforme a presente invenção. Os vários exemplos aqui apresentados usam material ferroso moído até -0,149 mm (-100 mesh) a menos que especificado diferentemente. Entretanto, material ferroso de tamanho maior pode também ser usado. Por exemplo, finos de pelotas peneiradas e dejetos de fábricas de pelotas têm geralmente 6,40 mm (0,25 polegada) de tamanho nomi-
30 nal. Tais materiais podem ser usados diretamente, ou podem ser moídos até -0,149 mm (-100 mesh) para melhor contato com os redutores carbonáceos durante o processamento.

Em uma modalidade preferida, para compactos contendo carvão a 80% da quantidade estequiométrica, amontoados de material redutível têm uma densidade de cerca de 1,9-2,0, bolas têm uma densidade de cerca de 2,1 e briquetes têm uma densidade de 2,1. Além disso, a mistura redutível tem uma densidade de menos de menos de cerca de 2,4. Em uma modalidade preferida, a densidade está entre cerca de 1,4 e cerca de 2,2.

Uma ou mais das composições químicas de minério de ferro mostradas na tabela da figura 33 (isto é, excluindo o teor de oxigênio) fornecem um material ferroso adequado a ser processado por um processo de pepitas de ferro metálico, tal como o processo 10 descrito em relação à figura 1. Conforme mostrado ali, três concentrados magnéticos, três concentrados de flutuação, dejetos de fábrica de pelotas e finos peneirados de pelotas são apresentados na forma de composição química.

Conforme usado aqui, o material de redução usado na camada da mistura redutível 46 inclui pelo menos um material carbonáceo. Por exemplo, o material de redução pode incluir pelo menos um entre carvão, carvão vegetal ou coque. A quantidade de material de redução na mistura de material de redução e de material contendo ferro dependerá da quantidade estequiométrica necessária para completar a reação de redução no processo de forno que estiver sendo empregado. Conforme descrito mais adiante abaixo, tal quantidade pode variar dependendo do forno usado (por exemplo, a atmosfera na qual ocorre a reação de redução). Em uma ou mais modalidades, por exemplo, a quantidade de material de redução necessária para execução da redução do material ferroso está entre cerca de 70 por cento e 90 por cento da quantidade estequiométrica de material de redução necessária para executar a redução. Em outras modalidades. A quantidade de material de redução necessária para execução da redução do material ferroso está entre cerca de 70 por cento e 140 por cento da quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a execução da redução.

Pelo menos em uma modalidade tal material carbonáceo é moído até um tamanho de -0,149 mm (-100 mesh) ou menos para processamento conforme a presente invenção. Em outra modalidade, tal material car-

bonáceo é fornecido na faixa de -0,230 mm (- 65 mesh) a -0,149 mm(-100 mesh). Por exemplo, tal material carbonáceo pode ser usado em diferentes níveis estequiométricos (por exemplo, 80 por cento, 90 por cento e 100 por cento da quantidade estequiométrica necessária para redução do material ferroso). Entretanto, material carbonáceo na faixa de -0,074 mm (-200 mesh) a -2,38 mm (-8 mesh) pode também ser usado. O uso de material carbonáceo mais bruto (por exemplo, carvão) pode requerer quantidades aumentadas de carvão para execução do processo de redução. Material carbonáceo moído mais fino pode ser eficaz no processo de redução, mas a quantidade de micropepitas pode aumentar, e assim ser menos desejável. Os vários exemplos aqui apresentados usam material carbonáceo moído até -0,149 mm (-100 mesh) a menos que especificado diferentemente. Entretanto, material carbonáceo de tamanho maior pode também ser usado. Por exemplo, material carbonáceo de cerca de 3 mm (1/8 de polegada) de tamanho nominal pode ser usado. Tal material de tamanho maior pode ser usado diretamente, ou pode ser moído até -0,149 mm (-100 mesh) ou menor para melhor contato com o material contendo ferro durante o processamento. Quando outros aditivos forem também adicionados à mistura redutível, tais aditivos se necessário podem também ser moídos até um tamanho de -0,149 mm (-100 mesh) ou menor.

Vários materiais carbonáceos podem ser usados conforme a presente invenção no fornecimento da mistura redutível de material de redução e material contendo ferro. Por exemplo, antracita oriental e carvões betuminosos podem ser usados como redutor carbonáceo em pelo menos uma modalidade conforme a presente invenção. Entretanto, em algumas regiões geográficas, tais como na Faixa Ferrífera em Northern Minnesota, o uso de carvão ocidental sub-betuminoso oferece uma alternativa economicamente atraente, uma vez que tais carvões são mais prontamente acessíveis com os sistemas de transporte já existentes, mas eles têm baixo custo e baixo teor de enxofre. Como tal, os carvões ocidentais sub-betuminosos podem ser usados em um ou mais processos conforme descritos aqui. Além disso, uma alternativa ao uso direto de carvões sub-betuminosos pode ser carbonizar,

por exemplo, a 900°C, o carvão sub-betuminoso antes de seu uso.

Em uma modalidade, a mistura redutível 46 tem uma espessura de mais de 6,40 mm (0,25 polegada) e menos de 51 mm (2,0 polegadas). Além disso, em outra modalidade, a mistura redutível 46 tem uma espessura de menos de 25,4 mm (1 polegada) e mais de 12,7 mm (0,5 polegada). A espessura da mistura redutível é geralmente limitada e/ou dependente da penetração efetiva de calor e da área de superfície aumentada da mistura redutível que permite uma melhor transferência de calor (por exemplo, mistura redutível em forma de abóbada conforme descrito aqui).

Em adição ao material de redução (por exemplo, carvão ou carvão vegetal) e material contendo ferro (por exemplo, óxido de ferro ou minério de ferro), vários outros aditivos podem ser opcionalmente fornecidos à mistura redutível para um ou mais propósitos conforme mostrado pelo bloco 20 da figura 1. Por exemplo, podem ser usados aditivos para controlar a basicidade da escória, aglutinantes ou outros aditivos que fornecem a funcionalidade de aglutinação (por exemplo, a cal pode atuar como um aglutinante fraco em uma modalidade de microaglomerado aqui descrito quando úmido), aditivos para controlar a temperatura de fusão da escória, aditivos para reduzir a formação de micropepitas, e/ou aditivos para controlar o teor de enxofre nas pepitas de ferro resultantes formadas pelo processo de pepitas de ferro metálico 10.

Por exemplo, os aditivos mostrados na tabela da figura 34 podem ser usados em uma ou mais modalidades da camada de material redutível 46. A tabela da figura 34 mostra as composições químicas de vários aditivos que incluem, por exemplo, composições químicas tais como $\text{Al}(\text{OH})_3$, bauxita, bentonita, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, hidrato de cal, pedra calcária, dolomita queimada, e cimento Portland. Entretanto, outros aditivos podem também ser usados, como será descrito aqui mais adiante, tais como CaF_2 , Na_2CO_3 , espatoflúor, soda de barrilha, etc. Um ou mais entre tais aditivos, separadamente ou em combinação, podem fornecer resultados benéficos quando usados no processo de pepitas de ferro metálico 10.

Conforme discutido aqui em relação aos processos de pepitas

de ferro metálico que diferem de uma forma ou de outra daquele descrito em relação à figura 1 (por exemplo, o processo ITmk3, o processo Hi-QIP, etc.), a mistura redutível pode incluir os mesmos materiais (isto é, tipo de composição), mas a forma da mistura redutível na soleira pode ser diferente. Por exemplo, a forma que a mistura redutível toma pode ser uma bola preformada, pode preencher ondulações em uma camada carbonácea pulverizada, pode ser briquetes ou tipo de compacto (por exemplo, inclusive camadas compactas), etc. Como tal, a composição da mistura redutível é benéfica para múltiplos tipos de processos de pepitas de ferro metálico, e não apenas para o processo de pepitas de ferro metálico descrito geralmente em relação à figura 1.

Também com referência à figura 1, e em particular ao bloco 22 da figura 3B, as aberturas de canais 50 são definidas, ou fornecidas, na camada da mistura redutível 46 para definir as regiões de material redutível que formam pepitas de ferro metálico 59 como mostrado, por exemplo, pelas regiões quadradas na vista de topo da figura 3D. Tal processo de definição de canais é melhor mostrado e descrito em relação geral às figuras 3A-3E. A definição de canais fornece pelo menos uma forma de se controlar o tamanho das pepitas de ferro metálico conforme descrito em relação às várias modalidades aqui fornecidas.

Conforme mostrado na figura 3B, os canais 50 são fornecidos na camada da mistura redutível 46 da figura 3A para fornecer a camada formada de mistura redutível 48. Tais canais 50 são definidos até uma profundidade 56 na mistura redutível 46. A profundidade 56 é definida como a profundidade que se estende de uma superfície superior da camada de mistura redutível 46 na direção da soleira 42. Em uma ou mais modalidades, a profundidade dos canais 50 pode se estender por apenas parte da distância até a camada de material de soleira 44. Entretanto, em uma ou mais outras modalidades, a profundidade dos canais pode se estender até a camada de material de soleira 44 (ou mesmo na camada de material de soleira 44 se for suficientemente espessa).

Na modalidade mostrada nas figuras 3A-3E, as aberturas dos

canais 50 definidos na camada da mistura redutível 46 são fornecidas de modo a formar amontoados 52 (vide o amontoado em forma de abóbada na figura 3B) em cada região de material redutível formador de pepitas 59 (vide figura 3D) definida pelas aberturas 50. Conforme mostrado nas figuras 3B-3D, uma matriz de aberturas de canais 50 é criada na camada de mistura redutível 46. Cada uma das porções formadas, ou amontoados 52, de mistura redutível inclui pelo menos uma porção curva ou inclinada 61. Por exemplo, os amontoados 52 podem ser formados de pirâmides, troncos de pirâmides, amontoados arredondados, troncos de amontoados arredondados, ou qualquer outra forma ou modalidade adequada. Por exemplo, em uma modalidade, qualquer forma ou modalidade adequada que resulte na formação de uma pepita metálica em cada uma ou mais das regiões de material redutível formador de pepitas 59 pode ser usada. Em uma ou mais modalidades, são usadas formas que fornecem uma grande área de superfície exposta para uma transferência eficaz de calor (por exemplo, amontoados em forma de abóbada similares à forma da pepita que está sendo conformada).

Também, como será aparente da descrição aqui, dependendo das porções formadas, ou amontoados 52, as aberturas de canais 50 têm formas ou modalidades associadas a elas. Por exemplo, se o amontoado 52 era uma estrutura de pirâmide, uma estrutura de tronco de pirâmide, ou um amontoado em forma trapezoidal, as aberturas 50 podem ser formadas em uma modalidade do tipo V. Um ou mais de tais diferentes tipos de aberturas de canais estão também descritos aqui em relação às figuras 5A a 10E.

As aberturas de canais podem ser formadas usando-se qualquer dispositivo de definição de canais adequado. Por exemplo, um ou mais dispositivos de definição de canais estão descritos aqui em relação às figuras 8A a 10E.

Também em relação à figura 1, e como mostrado opcionalmente no bloco 26, as aberturas de canais 50 são pelo menos parcialmente cheias com material de separação de pepitas 58 conforme mostrado nas figuras 3C-3D. O material de separação de pepitas 58 inclui pelo menos material carbonáceo. Por exemplo, em uma ou mais modalidades, o material carbo-

náceo inclui coque pulverizado ou carvão vegetal pulverizado, antracita pulverizada, ou suas misturas.

Pelo menos em uma modalidade, tal material pulverizado usado para encher as aberturas de canais é moído até um tamanho de -3,36 mm (-6 mesh) ou menor para processamento conforme a presente invenção. Pelo menos em uma modalidade, tal material pulverizado usado para encher as aberturas de canais é -0,840 mm (-20 mesh) ou maior. Material pulverizado mais fino com mais de -0,840 mm (-20 mesh) (por exemplo, -0,149 mm (-100 mesh)) pode aumentar a quantidade de formação de micropepitas. Entretanto, materiais de tamanho maior também podem ser usados. Por exemplo, materiais carbonáceos de cerca de 6 mm (1/4 de polegada) de tamanho nominal podem ser usados.

Conforme mostrado na figura 3C, a profundidade 56 de cada canal 50 é apenas parcialmente preenchida com material de separação de pepitas 58. Entretanto, tais canais 50 podem ser completamente cheios e, em uma ou mais modalidades, material carbonáceo adicional pode ser formado como uma camada sobre, por exemplo, os amontoados e acima dos canais definidos cheios. Em pelo menos uma modalidade, pelo menos cerca de um quarto da profundidade do canal 56 é preenchido com material de separação de pepitas 58. Também, em outra modalidade, menos de cerca de três quartos da profundidade do canal 56 é preenchido com material de separação de pepitas 58. Com as aberturas de canais 50 cheias com pelo menos material carbonáceo e com a formação de regiões de material redutível formador de pepitas geralmente uniformes 59, pepitas de tamanho uniforme podem ser produzidas pelo processo de pepitas de ferro metálico 10. Como será reconhecido, quanto maiores as regiões de material redutível formador de pepitas 59 (por exemplo, quanto maiores os amontoados 52 de mistura redutível), maiores as pepitas formadas pelo processo 10. Em outras palavras, o tamanho das pepitas pode ser controlado.

Com as aberturas de canais 50 pelo menos parcialmente preenchidas com material de separação de pepitas 58, uma camada formada 48 de mistura redutível (por exemplo, amontoados 52) pode ser tratada termi-

camente sob condições adequadas para reduzir o material contendo ferro e formar uma ou mais pepitas de ferro metálico em uma ou mais regiões definidas de material formador de pepitas de ferro metálico 59 conforme mostrado no bloco 24 da figura 1. Por exemplo, conforme mostrado na modalidade da figura 3E, uma pepita metálica 63 é formada em cada uma das regiões de material redutível formador de pepitas 59. Tais pepitas 63 são geralmente uniformes no tamanho uma vez que substancialmente a mesma quantidade de mistura redutível foi formada e processada para produzir cada uma das pepitas 63.

10 Como também mostrado na figura 3E, a escória resultante 60 na camada de material de soleira 44 é mostrada com uma ou mais pepitas de ferro metálico 63 (por exemplo, contas de escória na camada de material de soleira 44 separadas das pepitas de ferro 63 ou anexadas a elas). Também com referência ao bloco 28 da figura 1, as pepitas metálicas 63 e a escória 15 60 (por exemplo, contas de escória anexadas) são descarregadas da soleira 42, e as pepitas metálicas descarregadas são então separadas da escória 60 (bloco 29).

O mecanismo da formação de pepitas de ferro durante o tratamento térmico (bloco 24) da camada de mistura redutível formada 48 está descrita aqui em relação às figuras 4A-4D. As figuras 4A-4D mostram o efeito do tempo em um forno de redução (isto é, o forno de redução descrito aqui referido como forno de tubo) a uma temperatura de 1400°C na formação de pepitas. A composição da mistura redutível incluiu o uso de 5,7% de concentrado de óxido de silício, uma necessidade estequiométrica de 80% de 20 carvão betuminoso com médio volatilidade, e uma composição de escória 25 (A) formada em dois amontoados separados 67. A composição de escória (A) pode ser discernida do diagrama de fase da figura 21A e da tabela da figura 21B.

A figura 4A mostra etapas do processo de formação de pepitas com as pepitas 71 formadas em uma soleira, a figura 4B fornece uma vista de topo de tais pepitas, a figura 4C fornece uma vista lateral de tais pepitas, e a figura 4D fornece uma seção transversal de tais pepitas. Em outras pala- 30

vras, as figuras 4A-4D mostram uma modalidade de uma seqüência da formação de pepitas de ferro envolvendo a formação de ferro-esponja metálico, derretimento das partículas metalizadas, coagulação das partículas de ferro metálico derretidas pelo encolhimento e espremedura da escória arrastada.

5 Tais figuras 4A-4D mostram a formação de pepitas de ferro sólido completamente fundido 71 após cerca de 5-6 minutos. A presença da ranhura 69 na mistura redutível para formar amontoados 67 induz as pepitas de ferro 71 em ilhas individuais a se retraírem umas das outras e se separarem em pepitas individuais.

10 Tal processo é bastante diferente do mecanismo proposto e descrito que usa minério de ferro seco/bolas de mistura de carvão tal como descrito aqui na seção Antecedentes da Invenção. O mecanismo usado com as bolas é considerado como envolvendo a formação de ferro diretamente reduzido pela redução de bolas contendo carbono, formação de uma concha
15 de ferro metálico denso na superfície da forma redonda original com a escória fundida separada do metal, e um grande espaço vazio dentro, seguido da fusão da fase ferro e da separação da escória do metal fundido.

O processo de pepita de ferro metálico 10 pode ser realizado por um sistema de forno 30 como mostrado geralmente na figura 2A. Outros tipos de processos de pepitas de ferro metálico podem ser realizados usando-
20 se um ou mais componentes de tal sistema, sozinho ou em combinação com outros equipamentos adequados. O sistema de forno 30 inclui geralmente um equipamento de carga 36 que pode ser operado para fornecer uma camada de mistura redutível 46 em pelo menos uma parte da camada de material de soleira 44. O equipamento de carga pode incluir qualquer equipa-
25 mento adequado para fornecer uma mistura redutível 46 em uma camada de material de soleira 44. Por exemplo, uma calha de alimentação controlável, um dispositivo de nivelamento, um equipamento de direcionamento da alimentação, etc., podem ser usados para fornecer tal mistura de alimentação
30 à soleira 42.

Um dispositivo de definição de canais 35 é então capaz de ser operado (por exemplo, operação manual e/ou automática; tipicamente auto-

mática em unidades ou sistemas comerciais) para criar a pluralidade de aberturas de canais 50 que se estendem pelo menos parcialmente através da camada da mistura redutível 46 para definir a pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas 59. O dispositivo de definição de canais 35 pode ser qualquer equipamento adequado (por exemplo, dispositivo de corte de canais, prensa de formação de amontoados, etc.) para criar as aberturas de canais 50 na camada de mistura redutível 46 (por exemplo, formação do amontoado 52, pressionamento da mistura redutível 46, corte das aberturas, etc.). Por exemplo, o dispositivo de definição de canais 35 pode incluir um ou mais moldes, ferramentas de corte, ferramentas de conformação, ferramentas de formação, tambores, cilindros, barras, etc. Um ou mais dispositivos de definição de canais adequados serão descritos em relação às figuras 8A a 10E. Entretanto, a presente invenção não é limitada a qualquer equipamento específico para criar as aberturas de canais 50 na formação de regiões de material redutível formador de pepitas 59.

O sistema de forno 30 também inclui um equipamento de enchimento de canais 37 que pode ser operado para encher pelo menos parcialmente a pluralidade de aberturas de canais 50 com material de separação de pepitas 58. Qualquer equipamento de enchimento de canais 37 pode ser usado para fornecer tal material de separação 58 aos canais 50 (por exemplo, sua operação manual e/ou automática). Por exemplo, pode ser usado um equipamento de alimentação que limita e posiciona o material em um ou mais locais, o material pode ser deixado rolar pelos amontoados em forma de abóbada até encher parcialmente as aberturas, um equipamento de pulverização pode ser usado para fornecer material aos canais, ou um equipamento sincronizado com um dispositivo de definição de canais pode ser usado (por exemplo, canais pelo menos parcialmente cheios à medida que os amontoados são formados).

Com o material redutível formado 48 fornecido à camada de material de soleira 44 e com o material de separação de pepitas 58 fornecido para encher pelo menos parcialmente a pluralidade de aberturas de canais 50, um forno de redução 34 é fornecido para tratar termicamente a camada

formada de mistura redutível 48 para produzir uma ou mais pepitas de ferro metálico 63 em uma ou mais da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas 59. O forno de redução 34 pode incluir quaisquer regiões ou zonas de forno adequadas para o fornecimento de condições adequadas (por exemplo, atmosfera e temperatura) para o processamento da mistura redutível 46 de forma que uma ou mais pepitas de ferro metálico 63 sejam formadas. Por exemplo, um forno de soleira rotativa, um forno de soleira linear, ou qualquer outro forno capaz de executar o tratamento térmico da mistura redutível 46 pode ser usado.

10 Também conforme mostrado na figura 2A, o sistema de forno 30 inclui um equipamento de descarga 38 usado para remover as pepitas metálicas 63 e a escória 60 formada durante o processamento pelo sistema de forno 30 e descarregar tais componentes (por exemplo, pepitas 63 e escória 60) do sistema 30. O equipamento de descarga 38 pode incluir qualquer
15 número de várias técnicas de descarga incluindo descarga do tipo gravidade (por exemplo, inclinação de uma bandeja inclusive as pepitas e a escória) ou técnicas usando-se um equipamento de descarga em parafuso ou um equipamento de descarga por varredura. Há de se reconhecer que qualquer número de diferentes tipos de equipamento de descarga 38 pode ser adequado
20 para fornecimento de tal descarga de pepitas 63 (por exemplo, agregados de pepitas de ferro 63 e contas de escória 60), e a presente invenção não é limitada a qualquer de suas modalidades particulares. Além disso, o equipamento de separação pode então ser usado para separar as pepitas de ferro metálico 63 das contas de escória 60. Por exemplo, qualquer método de se-
25 parar os agregados de pepitas de ferro e de contas de escória pode ser usado, tal como, por exemplo, queda em um tambor, peneiração, britador de martelos, etc. Entretanto, qualquer equipamento de separação adequado pode ser usado (por exemplo, um equipamento de separação magnética).

Um ou mais fornos de redução diferentes podem ser usados
30 conforme a presente invenção dependendo da aplicação da presente invenção. Por exemplo, em uma ou mais modalidades aqui, foram usados fornos de laboratório para executar o tratamento térmico. Há que se reconhecer

que a partir dos fornos de laboratório, a escala para o nível de produção em massa pode ser realizada e a presente invenção contempla tal escalonamento. Como tal, há de se reconhecer que vários tipos de equipamentos aqui descritos podem ser usados em processos de grande escala, ou equipamentos de produção necessários para executar tais processos em uma escala maior podem ser usados.

Na ausência de qualquer outra informação da composição do gás do forno dos processos de pepitas de ferro, a maioria dos testes de laboratório aqui descritos foi realizada em uma atmosfera de 67,7% de N_2 e 33,3% de CO, considerando-se que o CO_2 em um queimador de gás natural seria convertido rapidamente em CO na presença de redutores carbonáceos e materiais da camada de soleira pela reação de Boudouard (ou da solução de carbono) ($CO_2 + C = 2CO$) em temperaturas maiores que $1000^\circ C$, e uma atmosfera rica em CO prevalecerá pelo menos na vizinhança dos materiais redutíveis.

Enquanto a presença de CO na atmosfera do forno acelerou um pouco o processo de fusão se comparado com uma atmosfera de apenas N_2 , a presença de CO_2 em atmosferas de forno diminuiu os comportamentos de fusão das pepitas de ferro. Houve um efeito pronunciado do CO_2 nas atmosferas do forno na formação das pepitas de ferro a $1325^\circ C$ ($2417^\circ F$), em que a temperatura estava às margens de formar pepitas de ferro fundido. O efeito do CO_2 tornou-se menos pronunciado a temperaturas mais altas e, de fato, o efeito tornou-se virtualmente ausente acima de $1400^\circ C$ ($2552^\circ F$). Nos exemplos dados aqui, a menos que indicado diferentemente, as características salientes das descobertas são fornecidas conforme observadas principalmente na atmosfera de N_2 e CO.

Dois fornos de redução usados para chegar a uma ou mais das técnicas e/ou conceitos usados aqui incluem fornos de teste de laboratório inclusive, por exemplo, um forno de tubo de laboratório, conforme mostrado na figura 2B, e um forno de caixa de laboratório, conforme mostrado na figura 2C. Detalhes em relação a tais fornos devem ser fornecidos como informação suplementar a um ou mais testes descritos aqui. A menos que indi-

cado diferentemente, tais fornos de testes de laboratório foram usados para execução de vários exemplos fornecidos aqui.

O forno de tubo de laboratório 500 (figura 2B) conforme usado em situações de testes múltiplos aqui descritas, inclui um forno de tubo horizontal de 50,8 mm (2 polegadas) de diâmetro, 406,40 mm (16 polegadas) de altura x 508 mm (20 polegadas) de largura x 1041,40 cm (41 polegadas) de comprimento, com quatro elementos de aquecimento de carbono-silício, classificado em 8 kW, e um controlador de temperatura West 2070, ajustado a um tubo de mulita de 50,8 mm (2 polegadas) de diâmetro x 1219,20 mm (48 polegadas) de comprimento. Um diagrama esquemático do mesmo é mostrado na figura 2B. Em uma extremidade do tubo de combustão 501, são colocados um par termelétrico 503 do tipo R e um tubo de gás interno 505, e na outra extremidade, é anexada uma câmara de água resfriada 507, à qual são conectadas uma porta de saída de gás e uma porta de amostragem 509.

O gás efluente é queimado, se for usado CO, e removido até um sistema de dutos de exaustão. N₂, CO e CO₂ foram fornecidos através do tubo de combustão em diferentes combinações através dos respectivos rotâmetros para controlar a atmosfera do forno. Inicialmente, foi usado um bote de alumina artificial, com 127 mm (5 polegadas) de comprimento x 19,05 mm (3/4 de polegada) de largura x 11,11 mm (7/16 polegada) de altura.

Um perfil de temperaturas típico do forno de tubo quando a temperatura foi ajustada em 1300°C (2372°F) é mostrado a seguir.

Perfil de temperatura do forno de tubo, ajustado em 1300°C (2372°F)

Distância do centro mm (polegadas)	Leitura da temperatura (°C)
-127 (-5)	1292
-102 (-4)	1296
-76 (-3)	1299
-51 (-2)	1300
-25,4 (-1)	1301
0 (0)	1300
25,4 (+1)	1298
51 (+2)	1295
76 (+3)	1291
102 (+4)	1286

127 (+5)

1279

* Direção do fluxo de gás de – para +

A zona de temperatura constante de 25,4 mm (1 polegada) após o meio do forno foi suficiente para se estender sobre um bote de grafite 511 de 101,6 mm (4 polegadas) de comprimento.

5 Testes de redução foram conduzidos pelo aquecimento até uma temperatura na faixa de 1325°C (2417°F) até 1450°C (2642°F) e mantendo-se por diferentes períodos de tempo com uma taxa de fluxo de gás, em muitos dos testes, de 2L/min N₂ e 1 L/min de CO para controle da atmosfera. Em certos testes, a atmosfera foi mudada para conter diferentes concentra-

10 ções de CO₂. A temperatura do forno foi checada com duas diferentes calibrações de pares termelétricos e descobriu-se que as leituras concordavam dentro de 5°C.

 Para testes de redução, um bote de grafite 511 foi introduzido na câmara de água resfriada 507, o gás foi trocado para uma mistura de N₂-CO

15 ou de N₂-CO-CO₂ e purgado por 10 minutos. O bote 511 foi movido para uma zona de temperatura constante e removido de lá. Então, as pepitas de ferro e a escória foram retiradas e o remanescente foi separado e uma peneira de 0,840 mm (20 mesh), e os excessivamente grandes e os muito pequenos foram separados magneticamente. A fração magnética dos excessi-

20 vamente grandes incluiu principalmente micropepitas de ferro metálico, enquanto a fração magnética dos muito pequenos em muitos casos foi observada como incluindo principalmente partículas de coque com alguns materiais magnéticos anexados, quer a partir de minérios de ferro ou a partir de impurezas ferrosas do carvão adicionado.

25 Também, um forno de caixa de laboratório 600 aquecido eletricamente (figura 2C), com 99,06 cm (39 polegadas) de altura x 83,82 cm (33 polegadas) de largura x 132,08 cm (52 polegadas) de comprimento teve quatro elementos de aquecimento de carbono-silício helicoidais em ambos os lados em cada uma de suas câmaras. Um total de dezesseis (16) ele-

30 mentos de aquecimento nas duas câmaras foi classificado a 18 kW. O diagrama esquemático do forno de caixa está mostrado na figura 2C. O forno

600 incluiu duas câmaras de aquecimento 602, 604, de 30,48 cm (12 polegadas) x 30,48 cm (12 polegadas) x 30,48 cm (12 polegadas), com as duas câmaras capazes de controlar temperaturas de até 1450°C independentemente, usando dois controladores Chromalox 2104. Um par termelétrico tipo S foi suspenso do topo até o meio de cada cavidade a 11,43 cm (4½ polegadas) acima do piso em cada câmara. Um perfil de temperaturas típico na segunda câmara 604 é dado como segue:

Perfil de temperatura do forno de caixa, ajustado em 1400°C (2552°F)

Distância do centro mm (polegadas)	Leitura da temperatura (°C)
-102 (-4)*	1392
-76 (-3)	1394
-51 (-2)	1396
-25,4 (-1)	1397
0 (0)	1397
25,4(+1)	1396
51 (+2)	1395
76 (+3)	1393
102 (+4)	1392

* Direção do fluxo de gás de – para +

A variação de temperatura sobre uma bandeja 606 de 15,24 cm (6 polegadas) de comprimento estava dentro de uma faixa de poucos graus. O forno 600 foi precedido de uma câmara de resfriamento 608, com 406,4 mm (16 polegadas) de altura x 330,2 mm (13 polegadas) de largura x 609,6 mm (24 polegadas) de comprimento, com uma porta lateral 620 através da qual foi introduzida uma bandeja de grafite 606 com 127 mm (5 polegadas) de largura x 152,4 mm (6 polegadas) de comprimento x 38,1 mm (1½ polegada) de altura com uma espessura de 3,18 mm (1/8 de polegada), e uma janela de visão 610 no topo. Uma porta interna de gás 614, uma outra pequena janela de visão 612, e uma porta 616 para uma haste de calcar mover uma bandeja de amostra 606 para o forno 600 estavam localizadas na parede externa da câmara. No lado ligado ao forno, uma porta flip-up (porta pivotante) 622 foi instalada para evitar que o calor radiante entre ali. Um orifício de 2,54 cm (½ polegada) na porta flip-up 622 permitiu que o gás passasse, e

que a haste de calcar movesse a bandeja 606 para dentro do forno 600. Na extremidade oposta do forno, estavam localizadas uma porta de exaustão 630 do gás do forno, uma porta de amostragem do gás 632, e uma porta para uma haste de calcar 634 mover a bandeja 606 para fora do forno 600.

5 Para controlar a atmosfera do forno, foram fornecidos N_2 , CO e CO_2 ao forno 600 em diferentes combinações através dos respectivos rotâmetros. O fluxo total de gás pode ser ajustado na faixa de 10 a 50 L/min. Na maioria dos testes, foram usadas as bandejas de grafite 606, mas, em alguns testes, foram usadas bandejas feitas de chapas de fibras de alta tem-
10 peratura com uma espessura de 2,54 cm ($\frac{1}{2}$ polegada). Após a introdução de uma bandeja 606 na câmara de resfriamento 608, o forno foi purificado com N_2 por 30 minutos para repor o ar, seguido de outros 30 minutos com uma mistura de gás usada em um teste ou de N_2 -CO ou de uma mistura N_2 -CO- CO_2 antes da bandeja de amostra 606 ser empurrada para o forno.

15 Inicialmente, a bandeja foi empurrada para dentro da porta flip-up 622, mantida lá por 3 minutos, e então na primeira câmara 602 para pre-aquecimento, tipicamente a 1200°C, por 5 minutos, e na segunda câmara para a formação de pepitas de ferro metálico, tipicamente de 1400°C a 1450°C por 10 a 15 minutos. Após o teste, o gás foi trocado por N_2 e a ban-
20 deja 606 foi empurrada para a parte de trás do forno 622 e mantida ali por 3 minutos, e então na câmara de resfriamento 608. Após resfriar por 10 minutos, a bandeja 606 foi removida da câmara de resfriamento 608 para observação.

 Então, as pepitas de ferro e a escória foram retiradas e o remanescente separado em uma peneira de 0,840 mm (20 mesh), e os excessi-
25 vamente grandes e os muito pequenos foram separados magneticamente. A fração magnética das excessivamente grandes incluiu principalmente micro-pepitas de ferro metálico, enquanto a fração magnética dos muito pequenos em muitos casos incluiu principalmente partículas de coque com alguns ma-
30 teriais magnéticos, quer de minérios de ferro, quer de impurezas ferrosas do carvão adicionado. A fração magnética de +0,840 mm (+20 mesh) foi rotulada e é aqui referida como "micropepitas", e a de -0,840 mm (-20 mesh) foi

rotulada e é referida aqui como "0,0840 mm (-20 mesh) mag.". Como tal, conforme usado aqui, micropepitas refere-se a pepitas que são menores que as pepitas-base formadas durante o processo mas muito grandes para passar pela peneira de 0,840 mm (20 mesh), ou, em outras palavras, o material
5 +0,840 mm (+20 mesh).

Ainda também, como previamente descrito aqui, pode ser também usado um forno de soleira linear tal como aquele descrito no Pedido de Patente Provisório nº 60/558.197, intitulado "Linear hearth furnace system and methods", depositada em 31 de março de 2004, publicada como US
10 20050229748A1. Um sumário do forno de soleira linear descrito ali é como segue. Uma modalidade de exemplo de tal forno de soleira linear é mostrado geralmente na Figura 2D e, pode ser um forno de redução de ferro de vigas movediças com quarenta pés de comprimento 712 incluindo três zonas de aquecimento 728, 730, 731 separadas pelas paredes defletoras internas
15 746, e também incluindo uma seção final de resfriamento 734. As paredes defletoras 746 são resfriadas, por exemplo, por vergas resfriadas a água para sustentar o refratário nesses ambientes. Conforme descrito aqui, vários testes foram também realizados usando-se esse forno de soleira linear e os seus resultados estão descritos em relação às Figuras 35A até 41.

20 A Zona 728 é descrita como um aquecimento inicial e uma zona de redução. Esta zona pode operar dois queimadores de gás natural de 475 MJ (450.000 BTU) 738 capazes de atingir temperaturas de 1093°C. Suas paredes e teto são marcados com 15,24 cm (seis (6) polegadas) de refratário de fibra cerâmica classificado para 1316°C. Seu propósito é trazer amos-
25 tras para a temperatura suficiente para secagem, desvolatilizar hidrocarbonetos e iniciar as etapas de redução. Os queimadores são operados subestiquiometricamente para minimizar os níveis de oxigênio.

A Zona 730 é descrita como zona de redução. Essa zona pode operar dois queimadores de gás natural 738 de 475 MJ (450.000 BTU) ca-
30 pazes de alcançar 1316°C. Suas paredes e teto são marcados com 30,48 cm (12 polegadas) de refratários de fibra cerâmica classificados para sustentar temperaturas de operação constante de 1316°C. A redução da mistura de

alimentação ocorre nessa zona 730.

A Zona 731 é descrita como zona de fundição ou fusão. Essa zona pode operar em dois queimadores de gás natural 738 de 1055 MJ (1.000.000 BTU) capazes de sustentar essa zona em 1426°C. As paredes e o teto são marcados com 30,48 cm (12 polegadas) de refratários de fibra cerâmica classificados para sustentar temperaturas de operação constantes de 1426°C. A função dessa zona é para completar a redução, fundindo o ferro em módulos de ferro metálico ou "pepitas". No caso em que esse forno esteja sendo usado para fazer ferro diretamente reduzido ou ferro esponja, as temperaturas nesta zona seriam reduzidas em que a redução completa seria promovida sem fundição ou fusão.

A zona final 734, ou zona de resfriamento, é uma seção de camisa hidráulica do forno com aproximadamente 3,35 mm (11) pés de comprimento). Uma série de portas foi instalada entre a terceira zona e a seção de resfriamento de forma que o hidrogênio possa ser usado para criar uma manta. O propósito dessa zona é resfriar as bandejas de amostras 715 de forma que elas possam ser manuseadas com segurança e solidificar as pepitas de ferro metálico para remoção do forno.

As Zonas 728, 730, e 731 são controladas individualmente de acordo com a temperatura, a pressão e a taxa de alimentação, tornando esse forno 712 capaz de simular vários processos de redução de ferro e condições de operação. Um controlador de micrológica PLC Allen Bradley 718 acoplado a um PLC de automação direta para um mecanismo de vigas movidas 724 controla o forno através de uma interface de PC de fácil utilização.

A operação do forno sob pressão positiva permite o controle da atmosfera em cada uma das zonas para níveis de oxigênio reduzido (por exemplo, para 0,0%). As bandejas de amostras 715 são também enchidas com moinha de coque ou outras camadas de material carbonáceo de soleira para também aumentar a atmosfera do forno. A calefação a alta temperatura foi usada para selar frestas em todas as superfícies expostas para minimizar a infiltração de ar.

A taxa de alimentação é controlada por um mecanismo hidráulico de vigas movediças controlado por um PLC de automação direta 724 que avança as bandejas 715 através do forno 712. O dispositivo monitora o tempo em cada zona e avança as bandejas 715 de acordo com o mecanismo de vigas movediças 724 enquanto regula a taxa de alimentação. A taxa de alimentação do forno e a posição das bandejas é exibida em uma tela de operação através de comunicação com o PLC. Um par de vigas movediças lado a lado de refratários fusíveis se estende pelo comprimento do forno 712. Eles são dirigidos para a frente e para trás com um par de cilindros hidráulicos operados através do PLC. As vigas são levantadas e abaixadas através de um segundo par de cilindros hidráulicos que empurram as conjuntos de vigas para baixo e para cima uma série de inclinações (cunhas) nos cilindros. A ativação do mecanismo das vigas as move através de um total de 5 revoluções ou 76,2 cm (30 polegadas) por ciclo, o equivalente a uma bandeja.

As bandejas de amostras 715 são preparadas manualmente antes de se iniciar o teste. Bandejas adicionais podem também ser usadas, cobertas com coque ou com um redutor carbonáceo para regular atmosfera do forno. Um elevador de plataforma da chapa de cilindro 752, levantado e abaixado com um cilindro pneumático, é projetado para alinhar as bandejas de amostras 715 na alimentação 720 do forno para inserção da bandeja. A elevação do elevador 752 abre uma porta de alimentação com mola, expondo a seção de alimentação do forno à atmosfera para inserir as bandejas. As bandejas são inseridas no forno uma vez que a altura adequada e o alinhamento sejam atingidos. Um sistema de alimentação automática das bandejas é usado para alimentar bandejas de amostras com um cilindro pneumático.

As vigas movediças 724 transportam as bandejas 715 para a extremidade oposta 722 do forno em que elas são descarregadas em um elevador de plataforma similar (plataforma de rolete) 754. Um mecanismo de segurança foi instalado para monitorar a posição das bandejas quentes na descarga do forno. Os cilindros de descarga dirigem as bandejas no elevador de plataforma em que elas podem ser removidas ou inseridas de volta

no forno. Os cilindros de descarga não funcionarão a menos que as bandejas estejam em posição para descarga, o elevador de plataforma esteja na posição "para cima", e as vigas movediças tenham sido abaixadas para evitar descarga acidental das bandejas quentes. Cilindros transportadores enfileirados estão localizados na descarga do forno para remover e armazenar os estrados das amostras até resfriarem. Para levar de volta as bandejas para o forno, foi projetado um carro de retorno que transporta bandejas quentes, debaixo do forno, de volta para o elevador plataforma na extremidade de alimentação.

10 O sistema de exaustão de gás 747 é conectado a um ventilador de exaustão 753 com um VFD controlado pelo PLC do forno. Devido ao tamanho excessivo do ventilador de exaustão 753 para essa aplicação, um amortecedor na linha controlado manualmente ou um controle de pressão 755 é usado para reduzir a capacidade do ventilador de exaustão 753 para
15 melhorar o controle de pressão da zona. Como precaução de segurança, uma perna barométrica é instalada em um tanque de água de nível controlado entre o tubo de comunicação comum e o ventilador de exaustão para absorver quaisquer mudanças súbitas de pressão. Os gases de exaustão são descarregados do ventilador 753 até uma chaminé de exaustão de 12,192
20 (quarenta pés) 757. Os dutos de exaustão são refratários alinhados às paredes externas do forno em que eles mudam para aço inoxidável de alta temperatura (RA602CA), instalado com orifícios de pulverização de água 749, usados para resfriar os dejetos de gases. A temperatura dos gases de água de cada zona é controlada com um par termelétrico na linha e um medidor
25 de fluxo de água controlado manualmente para cada jogo de pulverizadores de água. Os dutos inoxidáveis são seguidos de aço carbono padrão uma vez que os gases são suficientemente resfriados. Um par termelétrico no tubo de comunicação comum é usado para monitorar a temperatura do gás de exaustão e minimizar o calor para os suportes do ventilador de exaustão.

30 As bandejas ou estrados de amostras 715 (conforme mostrado na Figura 35A) têm painéis refratários alinhadas de 193,54 cm² (30 polegadas) quadradas com um fundo chato para ser transportado através do forno

pelo mecanismo de vigas movediças 724. A armação das bandejas pode ser feita de uma liga de aço inoxidável 303 ou de aço carbono. Elas podem estar alinhadas com tijolos refratários de alta temperatura ou com uma chapa de fibra cerâmica com paredes laterais para conter a mistura de alimentação.

5 Os sistemas de forno acima descritos são dados a propósito de exemplo apenas para também ilustrar o processo de formação de pepitas 10 e fornecer certos detalhes dos testes e dos resultados ali relatados. Será reconhecido que qualquer sistema de forno adequado capaz de executar uma ou mais configurações de um processo de formação de pepitas de ferro 10 metálico descrito aqui pode ser usado conforme a presente invenção.

Conforme descrito geralmente em relação à Figura 1 e à Figura 3B, as aberturas de canais 50 podem ser de múltiplas configurações e profundidades. Conforme mostrado na Figura 3B, as aberturas de canais 50 formam amontoados 52 de mistura redutível em cada uma das regiões de material redutível formador de pepitas 59 (Figura 3D). Com as aberturas de 15 canais 50 se estendendo com uma profundidade 56 na camada da mistura redutível 46, os amontoados 52, por exemplo, podem ter uma forma de abóbada ou esférica. Múltiplas configurações alternativas para aberturas de canais alternativas estão mostradas nas Figuras 5A até 7B, bem como nas Fi- 20 guras 8A até 10E. Também nas Figuras 8A até 10E, são mostrados tipos alternativos de dispositivos de definição dos canais 35 que podem ser usados para formar tais aberturas de canais (por exemplo, aberturas de canais que são associadas com a formação de amontoados em cada uma da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas).

25 As figuras 5A-5B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal de uma modalidade de abertura de canal alternativa. Conforme mostrado, uma matriz de aberturas de canais 74 é criada na camada de mistura redutível 72. Cada abertura de canal 74 se estende parcialmente na camada da mistura redutível 72 e não se estende completamente 30 até a camada de material de soleira 70. A rede de aberturas de canais 74 (por exemplo, aberturas de canais substancialmente do mesmo tamanho correndo tanto horizontalmente quanto verticalmente) das regiões quadradas

ou retangulares 73 de material redutível formador de pepitas. Conforme mostrado na Figura 5B, as aberturas de canais 74 são basicamente um leve entalhe na camada de mistura redutível 72 (por exemplo, uma ondulação alongada). Cada uma das aberturas de canais 74 é inteiramente cheia com material de separação de pepitas 76. Também conforme mostrado na Figura 5B, as aberturas de canais 74 se estendem até uma profundidade que é cerca de metade da espessura da mistura redutível 72.

As figuras 6A-6B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal de ainda outra modalidade alternativa de uma modalidade de uma abertura de canal. Conforme mostrado, um primeiro conjunto de aberturas de canais 84 corre em uma primeira direção e um conjunto adicional de aberturas de canais 84 corre em uma segunda direção ortogonal à primeira direção. Como tal, são formadas regiões de forma retangular de material redutível formador de pepitas 83. Os amontoados de mistura redutível 82 são substancialmente de uma forma piramidal devido às aberturas de canais serem da forma de ranhuras em V 84. Conforme mostrado na Figura 6B, as ranhuras em forma de V 84 se estendem até a camada de material de soleira 80 e as aberturas de canais 84 são preenchidas com material de separação de pepitas 86. O material de separação de pepitas 86 é colocado em menos da metade da profundidade das ranhuras dos canais em forma de V 84.

As figuras 7A-7B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal de ainda outra modalidade alternativa de uma modalidade de aberturas de canais em que uma rede de ranhuras em forma de V forma regiões de forma retangular de material redutível formador de pepitas 93. As aberturas de canais em forma de V 94 geralmente formam um amontoadado em forma de tronco de pirâmide de mistura redutível 92 em cada uma das regiões de material redutível formador de pepitas 93. O material de separação de pepitas 96 enche inteiramente cada uma das ranhuras em forma de V 94. As aberturas de canais em forma de V 94 se estendem até o material de soleira 90.

Conforme mostrado nas múltiplas configurações, será reconhe-

cido que as aberturas de canais podem ser formadas para se estender através de toda a camada de mistura redutível até o material da soleira ou apenas parcialmente através da mesma. Além disso, será reconhecido que o material de separação de pepitas pode encher inteiramente cada uma das aberturas de canais ou pode encher apenas parcialmente tais aberturas.

As figuras 8A-8B mostram uma vista de topo e uma vista lateral da seção transversal, respectivamente, de ainda outra modalidade alternativa de uma modalidade de aberturas de canais. Em adição, as Figuras 8A-8B mostram um equipamento de definição 106 para uso na conformação das aberturas de canais 104 em uma camada de mistura redutível 102 que tenha sido fornecida na camada de material de soleira 100. As aberturas de canais 104 são geralmente ranhuras alongadas criadas na camada de mistura redutível 102 pelo equipamento de definição de canais 106.

O equipamento de definição de canais 106 inclui um primeiro elemento alongado 108 e um ou mais elementos de extensão 110 se estendendo ortogonalmente a partir do elemento alongado 108. Conforme mostrado pelas setas de direção 107, 109, o equipamento de definição de canais 106 e/ou a mistura redutível 102 podem ser movidos ao longo tanto do eixo x quanto ao longo do eixo y para mover material suficiente da mistura redutível para criar as aberturas de canal 104. Por exemplo, quando o elemento 108 e/ou a mistura redutível 102 são movidos na direção representada pela seta 107, são criados canais que são ortogonais àqueles criados quando o equipamento 106 é movido na direção 109. Em uma modalidade, o elemento alongado 108 não precisa se mover na direção representada pela seta 107, uma vez que a camada de mistura redutível 102 está se movendo, por exemplo, para a direita a uma velocidade constante tal como em um processo de conformação contínua mostrado na Figura 10A.

As figuras 9A-9B mostram uma vista de topo e uma vista da seção transversal, respectivamente, de ainda outra modalidade alternativa de aberturas de canais juntamente com um equipamento de definição de canais 126 para formar aberturas de canais 124 em uma camada de mistura redutível 122 fornecida na camada de material da soleira 120. As aberturas de

canais 124 incluem uma matriz de ranhuras alongadas em uma primeira e uma segunda direção que são ortogonais entre si e que formam geralmente uma matriz retangular de regiões de material redutível formador de pepitas 131.

5 O dispositivo de definição de canais 126 inclui um primeiro elemento de haste rotativo alongado 128 que inclui uma pluralidade de elementos de disco 127 montados ortogonalmente em relação ao elemento de haste alongado 128. Em uma modalidade de exemplo, os elementos de disco 127 giram no local para criar ranhuras quando a mistura de alimentação re-
10 dutível 122 se move na direção 133. Em outras palavras, a seta bidirecional 132 indicou a rotação do elemento de haste 128 e, como tal, dos um ou mais elementos de disco 127 de modo que a rotação dos elementos de disco 127 (quando a camada de mistura redutível 122 é movida na direção 133) produza canais em forma de ranhuras 124 em uma primeira direção (isto é, na
15 direção da seta 133). Em uma modalidade, o dispositivo de definição de canais 126 também inclui uma ou mais lâminas chatas 130 conectadas ao elemento de haste rotativo 128 entre os elementos de disco 127. As lâminas chatas 130 (por exemplo, duas lâminas montadas a 180 graus conforme mostrado na Figura 9B, três lâminas montadas a 120 graus, etc.) lavram a
20 mistura redutível 122 na direção cruzada (isto é, ortogonal à direção da seta 133) à medida que a camada da mistura redutível 122 está se movendo, por exemplo, a uma velocidade constante tal como em um processo de conformação contínuo mostrado na Figura 10A.

Será reconhecido que as aberturas de canais 124 se estendendo
25 na direção 133 podem ser criadas pelo mesmo equipamento de definição de canais ou por dispositivos diferentes como aqueles criados ortogonalmente. Por exemplo, o equipamento de definição de canais 126 pode ser usado para criar canais 124 ao longo da direção 133, enquanto que o equipamento de definição da canais 106, conforme mostrado em relação às Figuras 8A-8B,
30 pode ser usado para formar os canais 124 que se estendem ortogonalmente. Em outras palavras, o mesmo ou múltiplos tipos de dispositivos de definição de canais podem ser usados para criar as aberturas de canais em uma ou

mais diferentes configurações alternativas de aberturas de canais aqui descritas, e a presente invenção não é limitada a qualquer equipamento de definição de canais ou combinação de equipamentos em particular.

A figura 10A é uma vista ilustrativa lateral da seção transversal de ainda outra modalidade alternativa de abertura de canal em combinação com um dispositivo de definição de canais 146. Conforme mostrado na Figura 10A, o equipamento de definição de canais 146 cria amontoados 145 em uma camada da mistura redutível 142, similar àquela mostrada geralmente nas Figuras 3B-3C. O dispositivo de definição de canais 146 é girado, por exemplo, na direção da seta 152 e através da camada de mistura redutível 142 para formar amontoados 145 em uma forma que corresponde à superfície do molde 150 à medida que a camada da mistura redutível 142 é movida na direção da seta 153.

Em outras palavras, o dispositivo de definição de canais 146 inclui um elemento alongado 148 que se estende ao longo de um eixo em torno do qual o equipamento 146 gira. Uma ou mais superfícies do molde 150 são formadas em um local radial em relação ao eixo 148. Conforme mostrado na Figura 10A, tais superfícies de moldes 150 se estendem ao longo de todo o perímetro a uma distância radial do eixo 148 e também ao longo do eixo 148 (embora não mostrado). As superfícies dos moldes 150 podem ser formadas em qualquer modalidade particular para tomar a forma das aberturas de canais 144 que correspondem que diretamente à forma dos amontoados 145 formados na camada da mistura redutível 142 que é fornecida na camada de material de soleira 140. Será reconhecido que os amontoados não precisam ser conformados esfericamente, ter superfícies curvas, mas podem ser de qualquer outra forma tal como um amontoado em forma piramidal, um amontoado em forma de tronco de pirâmide, etc.

A figura 10B mostra ainda outra modalidade alternativa de um equipamento de definição de canais 166 para formar aberturas de canais 164 e amontoados 165 na camada de mistura redutível 162 que são substancialmente similares àqueles formados conforme descrito em relação à Figura 10A. Conforme mostrado na Figura 10B, o equipamento de definição

de canais 166 está na forma de um equipamento de estampagem tendo uma pluralidade de superfícies de moldes 169 em uma região inferior de um membro do corpo de estampagem 168. As superfícies de moldes 169 correspondem quem à forma das aberturas de canais 164 e os amontoados 165 que devem ser formados através disso. Conforme representado geralmente por um elemento alongado 167 que se estende do membro do corpo de estampagem 168 e da seta 163, uma força é aplicada ao equipamento de estampagem para formar os amontoados 165 pela diminuição das superfícies moldadas 169 na mistura redutível 162. Na elevação do equipamento de estampagem e movimentação da mistura redutível para o equipamento de estampagem em uma direção representada geralmente pela seta 165, o dispositivo de definição de canais pode ser movido para outra região da mistura redutível 162 e então novamente abaixado para formar amontoados 165 e aberturas de canal 164 adicionais.

Conforme descrito aqui, vários dispositivos de definição de canais podem ser usados para formar os amontoados e as aberturas de canais associadas de acordo com a presente invenção. Entretanto, em uma modalidade, são fornecidos amontoados na forma de abóbadas ou substancialmente esféricos, tais como aqueles mostrados nas Figuras 10A-10B e nas Figuras 3B-3C. Conforme mostrado em tais figuras, as aberturas que se estendem até uma profundidade dentro da camada de mistura redutível podem se estender até o material de soleira ou apenas parcialmente através da mistura redutível. Além disso, conforme mostrado em tais figuras, os canais que formam tais amontoados em forma de abóbada podem ser parcial ou totalmente preenchidos com o material de separação de pepitas. Em uma modalidade particular, o material de separação de pepitas é fornecido em menos de três quartos da profundidade das aberturas de canais que formam tais amontoados em forma de abóbada ou esféricos.

As figuras 10C-10E são fornecidas para ilustrar o uso da pressão ou compactação como parâmetro de controle em uma ou mais configurações de um processo de formação de misturas redutíveis. Uma ou mais configurações ilustrativas das técnicas de formação da mistura redutível aplicam

pressão ou compactação à mistura redutível na soleira para fornecer um parâmetro de controle adicionado ao processo de nucleação e crescimento das pepitas metálicas. Por exemplo, o uso de pressão ou compactação como um parâmetro de controle torna possível nuclear, localizar e desenvolver nódulos maiores na soleira. Para uma dada temperatura, o nódulo resultante em uma pepita metálica nucleará e crescerá no ponto de maior compactação ou pressão.

O uso de pressão ou compactação pode ser combinado com qualquer uma das configurações aqui descritas ou como uma alternativa a elas. Por exemplo, e conforme descrito aqui, na formação dos canais ou na formação da mistura redutível no material da soleira, a compactação ou pressão (por exemplo, pressão usando um ou mais dispositivos de definição de canais) pode ser usada para alterar o processo de formação de pepitas. Tal mistura redutível compactada pode ser usada sozinha ou em combinação com o material de separação de pepitas fornecido em aberturas formadas pela compactação ou pressão.

Além disso, por exemplo, um equipamento de compactação (por exemplo, um cilindro ou rolo de briquetagem ou uma prensa de briquetagem) pode ser usado para otimizar o tamanho e/ou a forma das pepitas formadas. O equipamento de compactação pode, por exemplo, ser configurado para imprimir um padrão na camada de mistura redutível (por exemplo, finos ferrosos e material de redução). Quanto mais profunda a impressão, maior será a compactação em uma área particular. Tal compactação pode resultar em um maior rendimento para o processo de formação de pepitas. Além disso, pode ser possível aumentar o tamanho das pepitas até um ponto em que as taxas de solidificação e outros parâmetros físicos restringem a formação de pepitas metálicas e separação de escória.

Em um ambiente de temperatura uniforme, as áreas de maior compactação devem aumentar o aquecimento e difusão, agindo portanto como o local de nucleação e coleta para as pepitas metálicas, fornecendo uma maneira de localizar em que uma pepita se formará na soleira. Além disso, pode ser possível usar o grau adicionado de liberdade provocado pela

compactação ou pressão como parâmetro de controle para agir contra os efeitos negativos de um perfil de temperaturas não-uniformes por toda a soleira que podem resultar como consequência da geometria do forno (por exemplo, defeitos de bordas) e da localização da fonte de calor no forno.

- 5 Também, em adição ao uso de pressão para controlar as taxas de reação (isto é, na formação de pepitas metálicas), as taxas de difusão dos gases de redução podem ser variadas usando-se a pressão em combinação com o tamanho das partículas, para controlar os caminhos para os gases que entram no material conformado. Da mesma forma, taxas de reações em estado
- 10 sólido de partículas, conforme administrado por mecanismos de transferência de calor e de difusão metalúrgica, podem também ser variadas.

Vários perfis de compactação estão mostrados nas Figuras 10C-10E. Entretanto, tais perfis são apenas ilustrativos dos muitos compactos diferentes que podem ser formados usando-se pressão e compactação. Os

15 compactos referem-se a qualquer mistura redutível compactada ou outro material de alimentação que tenha pressão aplicada a ele quando conformado para uma forma desejada (por exemplo, compactação ou pressão usada para formar amontoados em uma soleira, usada para fornecer um ou mais perfis de compactação em uma camada de material redutível, ou usada para

20 formar bolas compactadas ou objetos compactados de forma retangular, tais como bolas ou briquetes secos que são preformados usando-se compactação ou pressão e fornecidos à soleira para processamento). Será reconhecido que diferentes pressurizações durante a formação dos compactos pode resultar em diferentes características de processamento.

25 As figuras 10C-10E mostram uma soleira 220 à qual é fornecida uma camada de material de soleira 222. Camadas de mistura redutível compactada 224, 226 e 228 estão mostradas nas Figuras respectivas 10C-10E. A figura 10C inclui depressões compactadas na forma de arco 230 na camada de mistura redutível 224, a Figura 10D inclui depressões compactadas

30 em forma de arco 232 na camada de mistura redutível 226 em que é aplicada uma pressão maior que na Figura 10C, e a Figura 10E inclui depressões compactadas configuradas como paredes retas mais estreitas 234 na cama-

da de mistura redutível 228. Entretanto, será reconhecido que qualquer padrão compactado pode ser fornecido às camadas de mistura redutível para uso em um processo para a formação de pepitas e as Figuras 10C-10E são fornecidas apenas para ilustração.

5 Também, as figuras 11A-11E mostram várias outras ilustrações que podem usar a compactação para formar a mistura redutível tendo uma ou mais composições conforme descritas aqui. Por exemplo, as Figuras 11A-11B mostram bolas preparadas (por exemplo, compactadas ou então formadas sem compactação ou pressão, tal como com o uso de um material
10 aglutinante) de mistura redutível para uso em uma ou mais configurações de um processo de pepitas de ferro metálico, em que a Figura 11A apresenta uma bola de múltiplas camadas da mistura redutível e também a Figura 11B apresenta uma bola de múltiplas camadas tendo camadas de diferentes composições. As figuras 11C-11D mostram a compactação usada para fornecer compactos (por exemplo, briquetes) de mistura redutível para uso em
15 uma ou mais configurações de um processo de pepitas metálicas, em que a Figura 11C mostra a formação de compactos de três camadas, e também em que a Figura 11D mostra a formação de compactos de duas camadas. Além disso, as Figuras 11E-11F mostram o uso da compactação (por exemplo, através do processo de moldagem) para uso no fornecimento de compactos (por exemplo, briquetes) de mistura redutível para uso em uma ou
20 mais configurações de um, processo de pepitas de ferro metálico, em que a Figura 11E mostra a formação se compactos de duas camadas, e também em que a Figura 11F mostra a formação de compactos de três camadas. As
25 figuras 11A-11E são também descritas aqui em relação ao uso de diferentes níveis de % de material de redução (por exemplo, material carbonáceo) ou outros de seus constituintes (por exemplo, aditivos) em diferentes camadas da mistura redutível formada.

30 As figuras 12A a 15D ilustram uma ou mais configurações de exemplo da presente invenção e o efeito da quantidade de material de separação de pepita usado nas aberturas de canais. Para aumentar a área de superfície da camada de mistura redutível exposta à atmosfera do forno, a

conformação da mistura em uma forma simples ajuda na separação da camada de mistura redutível em pepitas individuais, e também minimiza o tempo necessário para formar pepitas de ferro totalmente fundidas.

Conforme mostrado em um exemplo conforme a Figura 12A, um

5 molde de madeira de 12 segmentos, eqüidimensional, em forma de abóbada de 3,493 cm (1 3/8 polegada) x 3,493 cm (1 3/8 polegada) x 25,4 mm (1 polegada) de profundidade no ápice em cada vazio, foi fabricado e usado para conformar uma camada de mistura redutível em bandejas de grafite (isto é, tendo um tamanho de 12,7 mm (5 polegadas) por 15,24 cm (6 polegadas)

10 que incluiu um concentrado magnético com 5,7 por cento de SiO_2 e um carvão betuminoso com média volatilidade a 80 por cento da necessidade estequiométrica para metalização da composição de Escória (A). A mistura redutível foi colocada em uma espessura uniforme sobre uma camada de coque pulverizado, e o molde de madeira foi pressionado contra a mistura redutível

15 para formar as ilhas em forma de abóbada simples de mistura redutível, conforme mostrado na Figura 12B. Quando as aberturas dos canais ou as ranhuras entre as ilhas em forma de abóbada da mistura de alimentação redutível são deixadas sem qualquer material de separação de pepitas ou coque, e após o processamento no forno de caixa a 1450°C por 6 minutos um uma

20 atmosfera de 80% de N_2 – 20% de CO, foram formadas pepitas. Entretanto, o produto pepitas resultante após o processamento incluiu uma coalescência incontrolável do ferro fundido (por exemplo, as pepitas não se separaram efetivamente e não eram de tamanho uniforme).

Conforme mostrado no exemplo da Figura 12, foi fornecida uma

25 mistura de alimentação redutível com padrão de 12 segmentos moldados incluindo um concentrado magnético com 5,7% de SiO_2 , carvão betuminoso com média volatilidade a 80% da quantidade estequiométrica na composição da escória (A). O padrão de 12 segmentos tem as suas ranhuras completamente preenchidas com coque pulverizado e foi processado no forno de caixa a 1450°C por 6 minutos em uma atmosfera de 80% de N_2 – 20% de CO.

30 Os resultados de tal processamento estão mostrados nas Figuras 13A e 14A conforme será descrito abaixo.

As figuras 13A-13D e as Figuras 14A-14D mostram o efeito dos níveis de coque nas ranhuras ou aberturas de canais na mistura de alimentação em forma de abóbada de 12 segmentos. A figura 13A mostra o efeito dos níveis de coque nas ranhuras da mistura de alimentação em forma de abóbada de 12 segmentos, preenchidas com coque pulverizado até o nível completo (por exemplo, a profundidade total da abertura de canal conforme descrita acima), a Figura 13B mostra o efeito quando tais ranhuras ou aberturas de canais são preenchidas com meio nível, a Figura 13C mostra o efeito quando tais ranhuras ou aberturas de canais são preenchidas a um quarto de nível, e a Figura 13D mostra os efeitos quando nenhum coque ou material de separação de pepitas é fornecido nas aberturas de canais tal como descrito acima em relação à Figura 12B.

Conforme mostrado aqui, e também em correspondência com as Figuras 14A-14D, quando as ranhuras não foram preenchidas ou quando foram preenchidas com um quarto do nível com coque, algumas das pepitas de ferro foram combinadas em tamanhos maiores e seus tamanhos não puderam ser controlados. Quando as ranhuras foram preenchidas até um nível médio, cada segmento reteve seu tamanho para formar pepitas de ferro totalmente fundidas.

O processo térmico para formar as pepitas de ferro foi realizado no forno de caixa elétrico a uma temperatura de 1450°C por 6 minutos. A 5,5 minutos, uma pepita de ferro no centro mostrou um sinal de estar nas fronteiras da fusão total. Consequentemente, pode ser concluído que 5,5 minutos foi o tempo mínimo necessário para a fusão completa com o padrão moldado.

O Exemplo apresentado nas Figuras 15A-15D também mostra o efeito de usar material de separação de pepitas de soleira nas aberturas de canais da camada de mistura redutível. Acredita-se que o fornecimento de material de separação de pepitas de soleira nas ranhuras ou aberturas de canais faça com que a mistura redutível em cada região (por exemplo, uma região retangular de mistura redutível) se afaste umas das outras e se separe em pepitas de ferro individuais. O tamanho dos retângulos e a espessura

da camada de mistura redutível controlam o tamanho da pepita resultante.

Conforme mostrado na Figura 15A, o controle dos tamanhos das pepitas de ferro pode ser realizado cortando-se um padrão retangular de ranhuras em uma camada de mistura redutível. Nesse caso, é fornecida uma
5 mistura incluindo 5,7% de um concentrado magnético de SiO_2 e carvão betuminoso com média volatilidade a 80% da quantidade estequiométrica na composição da escória (A). O grau ao qual as ranhuras formadoras de regiões de mistura redutível formadora de pepitas precisam ser preenchidas com material carbonáceo é exemplificado pressionando-se uma camada de
10 mistura redutível de 16 milímetros de espessura com ranhuras de 13 milímetros de profundidade para formar um padrão quadrado 12, conforme mostrado nas Figuras 15A-15D.

As ranhuras na mistura redutível da Figura 15A foram deixadas vazias e, em outra modalidade de teste, as ranhuras foram preenchidas com
15 coque de 0,840/0,230 mm (20/65 de mesh), conforme mostrado na Figura 15C. As bandejas foram aquecidas no forno de caixa a 1450°C por 13 minutos em uma atmosfera 80% de N_2 – 20% de CO. Os resultados estão mostrados nas Figuras 15B e 15D, respectivamente. Sem coque pulverizado ou material carbonáceo nas ranhuras, alguns quadrados encolheram para formar
20 pepitas individuais, enquanto outros se combinaram para formar pepitas de ferro maiores. Houve pouco controle sobre o tamanho das pepitas de ferro quando o material de separação de pepitas (por exemplo, material carbonáceo) não é usado nas aberturas de canais ou nas ranhuras. À medida que os quadrados individuais de ferro fundido se espalharam pelo seu próprio
25 peso, eles tocaram uns nos outros e se uniram em tamanhos maiores. O ferro fundido de tamanhos maiores eventualmente se aproxima de uma espessura constante, conforme determinado pelo equilíbrio entre a força de espalhamento devido ao seu próprio peso e a força de contenção devido à sua tensão de superfície.

30 Conforme mostrado na figura 15D, quando o material de separação de pepitas (por exemplo, material carbonáceo, tal como coque pulverizado) foi colocado nas ranhuras ou nas aberturas de canais, pepitas de ferro

individuais foram mantidas separadas e pepitas de ferro de tamanho uniforme puderam ser obtidas. O preenchimento das ranhuras com partículas de coque ajudou a auxiliar cada amontoado de material redutível a formar pepitas de ferro fundido individuais separadamente e uniformemente.

5 As ilustrações de exemplo acima fornecem suporte para o fornecimento de aberturas de canais na camada de mistura redutível para definir regiões formadoras de pepitas de ferro metálico (bloco 22) conforme descrito aqui em relação à figura 1. O tratamento térmico de tais regiões conformadas de material redutível resulta em uma ou mais pepitas de ferro metálico.

10 Além disso, pelo menos em uma ou mais modalidades conforme a presente invenção, as aberturas de canais são preenchidas pelo menos parcialmente com material de separação de pepitas (por exemplo, material carbonáceo) (bloco 26) conforme descrito nos exemplos aqui. Com o uso de tais aberturas de canais 50 e do material de separação de pepitas 58, conforme mostrado, por exemplo, nas figuras 3B-3C, pepitas de ferro metálico
15 63 substancialmente de tamanho uniforme são formadas em cada região de material redutível formador de pepitas 59 definida pelas aberturas de canais 50.

 Em uma modalidade, conforme mostrado nas figuras 4A-4C, cada uma das uma ou mais pepitas de ferro metálico incluem uma seção transversal máxima. Uma ou mais das pepitas de ferro metálico inclui um comprimento máximo através da seção transversal máxima que é maior que cerca de 6,35 mm (0,25 polegada) e menor que cerca de 101,6 mm (4 polegadas). Em ainda outra modalidade, um comprimento máximo através da
20 seção transversal máxima é maior que cerca de 12,7 mm (0,5 polegada) e menor que cerca de 38,1 mm (1,5 polegada).

 Além disso, conforme mostrado e descrito em relação à figura 1, o material carbonáceo da camada de material de soleira 44, fornecido geralmente conforme o bloco 14, pode ser modificado de uma ou mais diferentes maneiras. Conforme descrito previamente, o material carbonáceo é geralmente suficientemente fino de forma que a escória não penetre na camada de material de soleira 44 de forma a reagir indesejavelmente com o mate-
30

rial refratário da soleira 42.

O material de soleira 44 (por exemplo, a sua distribuição de tamanhos) pode influenciar a quantidade de minipepitas geradas durante o processamento da redução da camada de mistura redutível 46. Por exemplo, pelo menos em uma modalidade, a camada de material de soleira 44 inclui uma camada de coque pulverizado tendo uma distribuição de tamanhos de +0,230 mm (+65 mesh) como coque "conforme moído". Em outra modalidade, +0,650 mm (+28 mesh) de coque "conforme moído" é usada como camada de material da soleira. Com o uso dos amontoados 52, tal como mostrado na figura 3B (por exemplo, padrões em forma de abóbada de mistura redutível) em tal camada de material de soleira 44, como uma ilha da mistura redutível se encolhe para formar uma pepita através do processamento térmico, algum concentrado magnético é preso nos interstícios da camada de material de soleira 44 (por exemplo, camada de coque pulverizado) e forma micropepitas conforme definido previamente aqui.

Devido à presença de excesso de carbono, as micropepitas não se agregam com a pepita principal na região de material de redução formador de pepitas 59 ou entre elas próprias. Tal formação de micropepitas é indesejável, e meios de reduzir a formação de micropepitas nos processos tais como aqueles descritos conforme a presente invenção são desejáveis.

Enquanto a camada de material de soleira 44, que pode incluir coque pulverizado, pode gerar uma grande quantidade de micropepitas quando são usados amontoados em forma de abóbada, descobriu-se que uma camada de alumina pulverizada minimiza sua quantidade. Embora o uso de alumina demonstre o papel desempenhado pela camada de material carbonáceo de soleira 44 na geração de micropepitas, a alumina pulverizada não pode ser usada como camada de material de soleira 44 devido à sua reatividade com a escória.

Para minimizar a geração de micropepitas quando amontoados definidos nas aberturas de canais são processados conforme a presente invenção, o efeito de diferentes tipos de camada de material de soleira 44 foi comparado indicando que a camada de material de soleira, ou seu material

carbonáceo, pode ser opcionalmente modificada (bloco 16 da figura 1) para uso no processo de pepitas de ferro metálico conforme a presente invenção. A quantidade de micropepitas formada pode ser estimada por:

$$\% \text{ de micropepitas} = Wt_{\text{micropepitas}} / (Wt_{\text{pepitas}} + Wt_{\text{micropepitas}}) \times 100$$

5 Os resultados de uma ou mais modalidades de testes ilustrativos de exemplo estão mostrados na tabela da figura 16. Na tabela, é notado que uma mistura de coque e alumina ou coque revestido com $\text{Al}(\text{OH})_3$, pode ser usada de acordo com a presente invenção para diminuir a porcentagem de micropepitas formadas no processo de pepitas de ferro metálico 10. Os resultados mostrados na tabela da figura 16 foram o resultado de uma modalidade de teste ilustrativo como segue.

Para os dados das "abóbadas alongadas 12" mostrados na figura 16, um padrão em forma de abóbada alongada, com 12 segmentos, de mistura de alimentação com ranhuras preenchidas com coque pulverizado 15 até um nível médio foi aquecido a 1450°C (2642°F) no forno de caixa por 5,5 minutos em uma atmosfera de $\text{N}_2\text{-CO}$ para produzir pepitas de ferro totalmente fundidas individuais. Apenas a camada de material de soleira foi modificada conforme mostrado na tabela da figura 16.

Para os dados das "12 e 16 bolas" da figura 16, um peso igual 20 de uma mistura de alimentação na Composição de Escória (A), foi usado para formar bolas de mesmo tamanho, e tais bolas foram processadas por aquecimento a 1450°C (2642°F) no forno de caixa por 5,5 minutos em uma atmosfera de $\text{N}_2\text{-CO}$ para produzir pepitas de ferro totalmente fundidas individuais. O processamento das bolas resultou na formação de muito poucas 25 micropepitas (por exemplo, 0,4% e 0,8%).

Dois extremos do efeito dos materiais da camada de soleira são comparados na tabela da figura 16. Enquanto o material da camada de soleira de coque pulverizado gerou uma grande quantidade de micropepitas (13,9%), uma camada de alumina pulverizada minimizou a quantidade 30 (3,7%) de micropepitas. Entretanto, conforme indicado acima, na prática a alumina pulverizada não pode ser usada como material da camada de soleira.

São comparados os resultados quando apenas coque e um peso igual (50:50) da mistura de coque e alumina foram usados como camada de soleira. A quantidade de micropepitas foi reduzida para menos da metade na presença de alumina na camada de material de soleira.

5 Além disso, o coque pulverizado foi revestido com Al(OH)_3 pela mistura de 40 g de coque em uma mistura aquosa de Al(OH)_3 , secado e peneirado a 0,230 mm (65 mesh) para remover o excesso de Al(OH)_3 . O coque adquiriu 6% em peso de Al(OH)_3 . O coque revestido com Al(OH)_3 foi usado como camada de material de soleira. A quantidade de micropepitas diminuiu
10 notavelmente (3,9%).

Também, o coque pulverizado foi revestido com Ca(OH)_2 misturando-se 40 g de coque em uma mistura aquosa de Ca(OH)_2 , secado e peneirado a 0,230 mm (65 mesh) para remover o excesso de Ca(OH)_2 . O coque adquiriu 12% em peso de Ca(OH)_2 . O coque revestido com Ca(OH)_2 foi
15 usado como camada de material de soleira. Aparentemente, o revestimento de Ca(OH)_2 não teve essencialmente nenhum efeito na geração de micropepitas (14,2%). Pode ser especulado que uma adição de CaF_2 ao Ca(OH)_2 no revestimento minimizaria a quantidade de micropepitas pela redução da fusão da escória de alto teor de cal como no caso da Composição de Escória
20 $\text{L}_{1,5}\text{FS}_{0,5-2}$, vide figuras 21A e 23.

Conforme descrito previamente em relação à figura 1, a camada de mistura redutível 46 para uso no processo de pepitas de ferro metálico 10 conforme a presente invenção pode incluir um ou mais aditivos em combinação com o material de redução e o material ferroso redutível (por exemplo,
25 material de óxido de ferro redutível). Um método 200 para fornecimento da mistura redutível 46 (com aditivos opcionais) está mostrado no diagrama de blocos da figura 17. O método inclui o fornecimento de uma mistura de pelo menos material de redução (por exemplo, material carbonáceo tal como coque ou carvão vegetal) e material de óxido de ferro redutível (por exemplo,
30 material ferroso tal como mostrado na figura 33)(bloco 202). Opcionalmente, por exemplo, o óxido de cálcio ou um ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio na sua decomposição térmica (bloco 204) podem ser adi-

cionados à mistura redutível. Também, opcionalmente, o óxido de sódio ou um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio na sua decomposição térmica pode ser fornecido (bloco 206) em combinação com os outros componentes da mistura redutível. Também um ou mais agentes de fluxo podem ser opcionalmente fornecidos para uso na mistura redutível (bloco 208).

Os um ou mais agentes de fluxo que podem ser fornecidos para uso com a mistura redutível (bloco 208) podem incluir qualquer agente de fluxo adequado, por exemplo, um agente que ajude no processo de fusão pela redução da temperatura de fusão da mistura redutível ou pelo aumento da fluidez da mistura redutível. Em uma modalidade, fluoreto de cálcio (CaF_2) ou espatoflúor (por exemplo, uma forma mineral de CaF_2) podem ser usados como agentes de fluxo. Além disso, por exemplo, bórax, NaF ou escória da indústria de fusão de alumínio, podem ser usados como agentes de fluxo. Em relação ao uso de espatoflúor como agente de fluxo, uma quantidade de cerca de 0,5% até cerca de 4% em peso da mistura de redução pode ser usada.

O uso de espatoflúor, por exemplo, bem como de um ou mais agentes de fluxo, diminui a temperatura de fusão das pepitas de ferro que estão sendo formadas e minimiza a geração de micropepitas. Descobriu-se que a espatoflúor diminui não apenas a temperatura de formação de pepitas, mas também é de modo único eficaz na redução da quantidade de micropepitas geradas.

Em uma tentativa para melhorar a capacidade de remoção de enxofre da escória, como será também descrito aqui, o nível de cal de um ou mais dos outros compostos capazes de produzir óxido de cálcio é tipicamente aumentado além de uma composição (L), conforme mostrado no diagrama da fase $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ da figura 21A que indica as composições de escória de (A), (L), (L_1) e (L_2). Conforme notado previamente, a composição (L) está localizada no canal de temperatura de fusão baixa no diagrama de fase $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Também, como previamente indicado, as composições de escória são abreviadas pela indicação das quantidades de cal adi-

cional usadas em porcentagem como sufixo, por exemplo, (L₁) e (L₂) indicam a adição de cal de 1% e 2% respectivamente, sobre aquela da composição (L) (vide tabela da figura 22). A quantidade de CaF₂ químico (abreviada para CF) adicionada em porcentagem foi também indicada como sufixo, por exemplo, (L_{0,5}CF_{0,25}), que representa que 0,25% em peso de CaF₂ foi adicionado à mistura de alimentação com a Composição de escória (L_{0,5}).

Geralmente, a figura 22 mostra o efeito da adição de CaF₂ às misturas de alimentação, que inclui um concentrado magnético de 5,7% de SiO₂, carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização, e composição de escória (L_{0,5}) nas distribuições de peso dos produtos em um padrão de 2 segmentos em botes, aquecidos a 1400°C por 7 minutos em uma atmosfera de N₂-CO. Uma adição de 0,25% em peso de CaF₂ à mistura de alimentação com a Composição de escória (L_{0,5}) diminuiu a quantidade de micropepitas de 11% para 2%, e a quantidade permaneceu mínima em cerca de 1% com a adição de CaF₂ na quantidade de cerca de 2% em peso.

Geralmente, a figura 23 mostra o efeito da adição de CaF₂ e/ou espatoflúor (abreviado FS) à mistura de alimentação que inclui um concentrado magnético com 5,7% de SiO₂, carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização, e uma composição de escória de crescente composição de cal, na quantidade de micropepitas gerada. As amostras em um padrão de 2 segmentos em botes foram aquecidas a diferentes temperaturas por 7 minutos em uma atmosfera de N₂-CO (por exemplo, 1400°C, 1350°C e 1325°C). É mostrado que o espatoflúor e o CaF₂ se comportaram essencialmente de forma idêntica quanto à redução da temperatura da conformação de pepitas de ferro totalmente fundidas e quanto à minimização da formação de micropepitas. Na tabela, é notado que uma adição de espatoflúor diminuiu a temperatura de operação em 75°C. A temperatura mínima para a formação de micropepitas de ferro totalmente fundidas diminuiu para um nível baixo, da ordem de 1325°C pela adição de cerca de 1% até cerca de 4% em peso de espatoflúor. A adição de espatoflúor também minimizou a geração de micropepitas até cerca de 1%.

Geralmente, a figura 24 mostra o efeito da adição de espatoflúor nos resultados analíticos das pepitas de ferro formadas das misturas de alimentação que incluíram um concentrado magnético com 5,7% de SiO_2 , carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização e composição de escória (L_1), ($L_{1,5}$) e (L_2). As amostras em um padrão de 2 segmentos em botes foram aquecidas a 1400°C por 7 minutos em uma atmosfera de $\text{N}_2\text{-CO}$.

Embora o espatoflúor seja informado como não sendo um des-sulfurador particularmente eficaz na escória siderúrgica, a figura 24 mostra que com a adição crescente de espatoflúor, o enxofre nas pepitas de ferro foi minimizado mais efetivamente nas Composições de Escória ($L_{1,5}$) e (L_2) do que na (L_1). Nas Composições de Escória ($L_{1,5}$) e (L_2), pepitas de ferro analisadas incluíram 0,058% em peso de enxofre e 0,050% em peso de enxofre, respectivamente, enquanto o enxofre decresceu constantemente até um nível baixo da ordem de 0,013% e 0,009% em peso, respectivamente, com a adição de 4% de espatoflúor. Portanto, o uso de espatoflúor não apenas diminuiu a temperatura de operação e o enxofre nas pepitas de ferro, mas também mostrou um benefício inesperado de minimizar a geração de micropepitas.

Também em relação à figura 17, óxido de cálcio, e/ou um ou mais compostos capazes de produzir óxido de cálcio na sua decomposição térmica, conforme mostrado no bloco 204, podem ser usados. Por exemplo, óxido de cálcio e/ou cal podem ser usados como aditivo para a mistura redutível. Geralmente, a basicidade aumentada da escória pela adição de cal é uma abordagem convencional para controlar o enxofre na redução direta de minérios de ferro. O uso crescente de cal das composições de escória L a L_2 diminui o enxofre nas pepitas de ferro de 0,084% a 0,05%. A redução do teor de enxofre também pode se tornar desejável para certas aplicações. O uso crescente de cal, entretanto, requer temperaturas crescentemente maiores e maiores tempos nestas temperaturas para a formação de pepitas de ferro totalmente fundidas. Como tal, uma quantidade substancial de cal não é desejada, uma vez que altas temperaturas também resultam em uma produção

menos econômica de pepitas de ferro metálico.

Conforme também mostrado na figura 17, o óxido de sódio, e/ou um ou mais compostos capazes de produzir óxido de sódio na sua decomposição térmica podem ser usados em adição à cal (bloco 206), tal como, por exemplo, para minimizar o enxofre nas pepitas de ferro metálico formadas. Por exemplo, soda de barrilha, Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH , bórax, NaF e/ou escória da indústria de fundição de alumínio podem ser usados para minimizar o enxofre nas pepitas de ferro metálico (por exemplo, usados na mistura redutível).

A soda de barrilha é usada como dessulfurador na dessulfuração externa do metal quente. O sódio nos materiais de alimentação do alto-forno recircula e acumula dentro do alto-forno, levando a problemas operacionais e ataque ao forno e aos forros dos equipamentos auxiliares. Em fornos de soleira rotativa, a recirculação e acumulação de sódio é menos provável de acontecer, e, como tal, quantidades maiores de sódio podem ser toleradas em materiais de alimentação que em altos-fornos.

As figuras 25A-25C mostram o efeito da adição de soda de barrilha a uma mistura de alimentação que inclui um concentrado magnético com 5,7% de SiO_2 , carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização, e composição de escória ($L_{0,5}$) nos produtos formados em um padrão de 2 segmentos em botes, aquecidos no forno de tubo a 1400°C por 7 minutos em uma atmosfera de $\text{N}_2\text{-CO}$. A figura 25A corresponde à composição ($L_{0,5}$), a figura 25B corresponde à composição ($L_{0,5}\text{SC}_1$), e a figura 25C corresponde à composição ($L_{0,5}\text{SC}_2$).

A tabela da figura 26 mostra o efeito das adições de Na_2CO_3 e CaF na análise do enxofre nas pepitas de ferro em diferentes níveis de adição de cal, as pepitas formadas das misturas de alimentação que incluíram um concentrado magnético com 5,7% de SiO_2 , carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização, e composição de escória ($L_m\text{CS}_1$ ou $L_m\text{FS}_1$). As misturas de alimentação foram aquecidas no forno de tubo a 1400°C por 7 minutos em uma atmosfera N_2CO .

Uma adição de Na_2CO_3 sem adição de CaF_2 diminuiu o enxofre

nas pepitas de ferro tão eficazmente quanto, ou até mesmo mais eficazmente que o CaF_2 , mas a quantidade de micropepitas geradas aumentou, conforme mostrado nas figuras 25A-25C. Quando o CaF_2 foi usado juntamente com Na_2CO_3 , o teor de enxofre nas pepitas de ferro diminuiu ainda mais e a
5 quantidade de micropepitas permaneceu mínima em cerca de 1%. Um outro ponto notável foi que o efeito do CaF_2 na diminuição da temperatura de fusão das pepitas de ferro foi mais pronunciado nas Composições de Escória (L_1), ($L_{1,5}$) e (L_2) que nas Composições de Escória (L) e ($L_{0,5}$). Esse dado analítico mostra que pelo menos nessa modalidade a diminuição no enxofre
10 foi mais pronunciada com soda de barrilha que com aumentos na adição de cal.

A tabela da figura 27 mostra o efeito da temperatura nos resultados analíticos das pepitas de ferro formadas das misturas de alimentação. A mistura de alimentação incluiu um concentrado magnético com 5,7% de SiO_2 , carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização, e a composição de escória ($L_{1,5}\text{FS}_1\text{SC}_1$). A mistura de alimentação foi aquecida no forno de tubo nas temperaturas indicadas por 7 minutos em uma atmosfera de $\text{N}_2\text{-CO}$. Conforme mostrado na tabela da figura 27, o enxofre nas pepitas de ferro diminuiu notavelmente com o decréscimo da temperatura de 0,029% de S a 1400°C para 0,013% de S a 1325°C .
15 Uma adição de Na_2CO_3 junto com 1~2% de CaF_2 não apenas diminui o enxofre em pepitas de ferro para bem abaixo de 0,05%, mas também diminui a temperatura de operação e minimiza a geração de micropepitas. Diminuir-se a temperatura do processo, portanto, parece ter uma vantagem adicional de
20 reduzir o enxofre, em adição à diminuição dos custos de energia e de manutenção.

Em vários processos de redução de ferro metálico e anteriores, tais como aqueles que usam bolas conformadas e/ou secas conforme apresentado na seção Antecedentes da Invenção, redutores carbonáceos são
30 adicionados tipicamente em quantidades maiores que a quantidade teórica necessária para reduzir os óxidos de ferro para promover a carburação do ferro metálico para diminuir o ponto de fusão. A quantidade de redutores

carbonáceos nas bolas é assim reivindicada como incluindo uma quantidade necessária para reduzir o óxido de ferro mais uma quantidade necessária para carburação do ferro metálico e uma quantidade de perda associada com oxidação.

5 Em muitos dos processos aqui descritos, a quantidade estequi-
ométrica de material de redução é também necessária para a completa me-
talização e formação de pepitas de ferro metálico a partir de uma quantidade
predeterminada de material ferroso redutível. Por exemplo, em uma ou mais
modalidades a mistura redutível pode incluir uma quantidade determina-
10 da de material ferroso redutível e entre cerca de 70 por cento e cerca de 125
por cento da quantidade estequiométrica de material de redução (por exem-
plo, material redutor carbonáceo) necessário para sua completa metalização
(por exemplo, em que a mistura redutível de alimentação tem um teor uni-
forme de carvão através da mistura redutível tal como quando formado em
15 amontoados).

Entretanto, em uma ou mais modalidades conforme a presente
invenção, o uso de quantidades de redutor carbonáceo nos valores da quan-
tidade estequiométrica necessária para a completa metalização pode levar à
separação da mistura redutível em minipepitass e à geração de grandes
20 quantidades de micropepitass, conforme mostrado nas figuras 18-19. As figu-
ras 18-19 mostram o efeito dos níveis estequiométricos do carvão na forma-
ção de pepitass em que é usada uma mistura de alimentação que inclui um
concentrado com 5,7% de SiO_2 , carvão betuminoso médio volátil, e a com-
posição de escória (A). A mistura de alimentação é aquecida em um forno de
25 tubo a 1400°C por 10 minutos em um atmosfera de $\text{N}_2\text{-CO}$. Conforme mos-
trado aqui, um nível de 100% ou um excesso de adição de redutores carbo-
náceos além das necessidades estequiométricas pode resultar na formação
de mini e micropepitass.

As figuras 20A-20B também mostram o efeito dos níveis de car-
vãõ estequiométricos na formação de pepitass em que é usada a mistura de
30 alimentação incluindo um concentrado com 5,7% de SiO_2 , carvão sub-
betuminoso, e composições de escória (A) e (L). A mistura de alimentação é

aquecida em um forno de tubo a 1400°C por 10 minutos em uma atmosfera de N_2CO .

Conforme visto nas figuras 18 a 20B, a adição de cerca de 70% até cerca de 90% da quantidade estequiométrica minimizou a formação de micropepitas. O carbono necessário para também reduzir e carbonizar o me-
5 tal fundido viria então, por exemplo, do CO na atmosfera do forno e/ou da camada de material de soleira carbonácea base 44.

O controle da quantidade de material de redução na mistura re-
dutível com base na quantidade estequiométrica necessária para completar
10 o processo de metalização (bem como o uso de vários aditivos aqui descri-
tos) pode ser aplicado a outros processos de formação de pepitas bem como
aos métodos descritos em relação à figura 1. Por exemplo, métodos de bo-
las preformadas (compactadas ou não compactadas, mas formadas), ou
formação de compactos (por exemplo, amontoados formados por pressão ou
15 compactação de briquetes) podem usar tais técnicas de controle da redução
e/ou técnica de aditivos descritas aqui.

Por exemplo, podem ser usados compactos que empregam 70%
a 90% de redutor carbonácea necessário para a completa metalização em
uma mistura redutível adequada. Por exemplo, tais compactos podem ter as
20 adições adequadas de fluxo e pedra calcária, e/ou podem também incluir um
agente de redução auxiliar na soleira ou cobrindo parcialmente os compac-
tos para efetivamente fornecer a metalização da pepita e o controle do ta-
manho. Em outras palavras, o controle estequiométrico aqui descrito junta-
mente com a variação nas composições (por exemplo, aditivos, cal, etc.)
25 fornecidas aqui pode ser usado com compactos (por exemplo, briquetes,
briquetes parciais, amontoados compactados, etc.). O uso de compactos
pode suavizar a necessidade de uso de material de separação de pepitas
conforme descrito em relação à figura 1. Por exemplo, o controle da pressão,
da temperatura, e da difusão do gás em um briquete ou outro tipo de com-
30 pacto pode fornecer tais benefícios.

Entretanto, conforme descrito acima, tais dados mostrados nas
figuras 18 a 20A resultam do tratamento térmico usando-se o forno elétrico

de tubo em uma atmosfera de N_2 -CO descrito aqui e geralmente não leva em consideração a atmosfera em um forno aquecido a gás natural (por exemplo, um forno de soleira linear tal como o descrito aqui). Em tal atmosfera de forno de soleira linear, a atmosfera pode incluir 8-10% de dióxido de carbono e 3-4% de monóxido de carbono e um fluxo de gás altamente turbulento na sua zona de mais alta temperatura. Isto é diferente do forno de tubo elétrico e do forno de caixa em que a atmosfera está sendo controlada com a introdução de componentes. Como tal, vários testes foram realizados em um forno de soleira linear tais como aqueles descritos aqui em relação à figura 2D e também conforme determinado abaixo. Os testes e resultados estão resumidos aqui em relação às figuras 35-41.

Testes de Forno de Soleira Linear

Os testes foram realizados usando-se um forno de soleira linear de 12,19 m (40 pés) de comprimento, aquecido a gás, incluindo três zonas de aquecimento e uma seção de resfriamento como aquelas descritas geralmente em relação à figura 2D. As bandejas de amostras 223 ou estrados (conforme ilustrado na figura 35A) usadas nos testes foram feitos de uma estrutura de aço carbono, quadrada de 762 mm (30 polegadas) e foram alinhados com chapas de fibra de alta temperatura 225 com paredes laterais para conter amostras (por exemplo, a mistura redutível 228 e os produtos resultantes deles após o término do processamento). As bandejas 223 foram transportadas através do forno por um sistema de vigas movediças hidraulicamente dirigido conforme descrito em relação à figura 2D. A seta 229 na figura 35A indica a direção de movimento do estrado através do forno.

A mistura de alimentação redutível 228 na bandeja 223 foi formada na forma de uma abóbada de 6 segmentos para os testes no forno de caixa de laboratório, colocado em uma camada de coque de -2,00 mm (-10 mesh) em cada um dos quatro quadrantes da bandeja 223 rotulados como (1) até (4). Cada uma das abóbadas nos quadrantes de segmento de 6 x 6 teve dimensões de substancialmente 44 mm ($1\frac{3}{4}$) polegada de largura por 51 mm (2 polegadas) de comprimento e 17,50 mm ($11/16$ polegada) de altura, e continha carvão betuminoso médio volátil em porcentagens indicadas

(vide vários exemplos de testes abaixo) da quantidade estequiométrica e na composição de escória indicada (vide vários exemplos de testes abaixo).

Duas áreas de consideração em relação aos produtos resultantes dos testes do forno de soleira linear foram a quantidade de enxofre nas pepitas de ferro metálico formadas pelo processo e a quantidade de formação de micropepitas. Os testes dos fornos de laboratório de tubo e de caixa descritos aqui indicaram que a Composição de Escória ($L_{1,5}FS_1$) e o uso de carvão betuminoso médio volátil a 80% da quantidade estequiométrica minimizou o enxofre nas pepitas de ferro e minimizou a formação de micropepitas. Entretanto, os testes de forno de soleira linear revelaram que níveis inesperadamente altos de CO_2 e gás de forno altamente turbulento próximo do material de alimentação sendo processado consumiu muito do carvão adicionado (por exemplo, material de redução adicionado que foi adicionado ao material ferroso redutível) nas Zonas 1 e 2, um redutor não suficiente (por exemplo, material de redução) foi deixado para carburação e fusão do ferro metálico na zona de alta temperatura (Zona 3). O uso de carvão na quantidade de 105 a 125 por cento da quantidade estequiométrica foi necessário para formar pepitas de ferro metálico totalmente fundidas conforme mostrado pelos testes 14 e 17 fornecidos abaixo.

No Teste 14 do forno de soleira linear, foi usado um estrado tendo um arranjo de diferentes misturas de alimentação em abóbadas de 6 segmentos, tal como o mostrado geralmente na figura 35A. A mistura de alimentação incluiu carvão betuminoso médio volátil no quadrante indicado por porcentagens da quantidade estequiométrica e na Composição de Escória ($L_{1,5}FS_1$), colocada em uma camada de coque de -2,00 mm (-10 mesh). Os quadrantes que indicaram porcentagens foram o quadrante (1) 110% de carvão; quadrante (2) 115% de carvão; quadrante (3) 120% de carvão; e quadrante (4) 125% de carvão.

No teste 17 do forno de carvão linear, foi usado um estrado tendo um arranjo de diferentes misturas de alimentação em abóbadas de 6 segmentos tal como mostrado geralmente na figura 35A. A mistura de alimentação incluiu carvão betuminoso médio volátil no quadrante indicado por

porcentagens da quantidade estequiométrica e nas Composições de Escória ($L_{1,5}FS_2$) e ($L_{1,5}FS_3$), colocadas em uma camada de coque de -2,00 mm (-10 mesh). O quadrante indicado por porcentagens foram quadrante (1) 115% de carvão, 2% de espatoflúor; quadrante (2) 110% de carvão, 2% de espatoflúor; (3) 105% de carvão, 2% de espatoflúor; (4) 115% de carvão, 3% de espatoflúor.

Pepitas de ferro formadas nos testes 14 e 17 usando adições de carvão de 105% a 125% da quantidade estequiométrica e Composições de Escória de ($L_{1,5}FS_{1 \text{ a } 3}$). A figura 35B mostra os produtos resultantes do teste 17. As composições de gás típicas mostraram que quando o O_2 era baixo, o CO_2 era de cerca de 10% e o CO aumentou gradativamente de 2% para 4%. Tais dados são fornecidos na figura 36 que mostra os resultados analíticos dos gases do forno fornecidos às zonas no forno de soleira linear juntamente com a temperatura de tais zonas para o teste 17. As mesmas temperaturas foram usadas nas zonas durante o teste 14.

Concentrações de CO, expressas como porcentagens de $CO+CO_2$ foram plotadas nos diagramas de concentração de equilíbrio das reações de redução do óxido de ferro e da solução de carbono (Boudouard) conforme mostrado na figura 37. A concentração de CO na Zona 1 (954,4°C (1750°F)) estava na região de estabilidade do Fe_3O_4 , e a da zona 2 (1148,8°C (2100°F)) e da zona 3 (1427°C (2600°F)) estavam na faixa baixa da região de estabilidade do FeO. Todos os pontos estavam bem abaixo da reação de solução de carbono, sustentando uma vista que adicionou carvão foi rapidamente perdida no forno de soleira linear. As portas de amostragem de gás do forno de soleira linear estavam localizadas na parede do forno a cerca de 203,2 mm (8 polegadas) acima das superfícies do estrado. Devido à alta turbulência dos gases do forno, as concentrações de CO de 4% representam um valor bem misturado. A seta em 1427°C (2600°F) na figura 37 indica o aumento do CO com o tempo na zona 3.

Resultados analíticos das pepitas de ferro e das escórias dos Testes 14 e 17 do forno de soleira linear são dados na figura 38, juntamente com tais resultados para outro Teste 15. No Teste 15 do forno de soleira li-

near, um estrado tendo um arranjo de misturas de alimentação em abóbadas foi usado, tal como mostrado geralmente na figura 35A. A mistura de alimentação do teste 15 inclui carvão betuminoso médio volátil a 115% e 110% da quantidade estequiométrica e nas Composições de Escória ($L_{1,5}FS_1$), colocada em uma camada de coque de -0,230 mm (-10 mesh).

Conforme mostrado na figura 38, o enxofre nas pepitas de ferro variaram de 0,152 a 0,266%, ou várias vezes até mesmo uma ordem de magnitude maior que aquelas das pepitas de ferro formadas nos fornos de laboratório de tubo e de caixa com as mesmas misturas de alimentação conforme mostrado e descrito previamente em relação à figura 24. As escórias foram analisadas para confirmar que elas tinham realmente alto teor de FeO variando de 6,0 a 6,7%. A análise de FeO nas escórias no forno de laboratório de tubo e de caixa sob composições idênticas analisaram menos de 1% de FeO. O alto teor de CO_2 e o gás de forno altamente turbulento no forno de soleira linear (por exemplo, resultante do uso de queimadores de gás) provocaram a formação de escórias com alto teor de FeO, que aparentemente foi responsável por maiores teores de enxofre nas pepitas de ferro pela interferência na dessulfuração. O uso de uma porcentagem aumentada de carvão bem como o uso de coque de alto teor de enxofre (0,65% de S) como camada de soleira se comparado com coque de baixo teor de enxofre (0,40% de S) nos testes de laboratório pode ter também contribuído para o alto teor de enxofre nas pepitas de ferro.

Na figura 39, são mostrados os resultados analíticos de pepitas de ferro e da escória dos Testes 14, 15 e 17 do forno de soleira linear juntamente com os Testes adicionais 21 e 22. O carbono e o enxofre nas pepitas de ferro e o ferro, o FeO e o enxofre nas escórias para tais Testes são resumidos. Nos testes 21 e 22 para o forno de soleira linear, foi usado um estrado tendo um arranjo de diferentes misturas de alimentação em abóbadas de 6 segmentos, tal como mostrado geralmente na figura 35A. A mistura de alimentação incluiu carvão betuminoso médio volátil nas porcentagens indicadas das quantidades estequiométricas conforme mostrado na figura 39 e nas Composições de Escória indicadas conforme mostrado na figura 39, co-

locada em uma camada de coque de -0,230 mm (-10 mesh). A temperatura na Zona 3 foi ajustada de 13,9°C (25°F) mais alto em 1441°C (25°F) nos Testes 21 e 22.

Conforme mostrado na figura 39, o FeO nas escórias foi reduzido à metade quando a adição de espatoflúor foi aumentada para 2% com a concomitante redução do enxofre nas pepitas de ferro. Em vista dos resultados do Teste 17 com uma adição de espatoflúor de 2%, o menor teor de FeO deve ter sido o resultado de uma temperatura maior que 1441°C (2625°F).

A figura 40 é uma tabela mostrando o efeito da temperatura na Zona 3 nas concentrações de CO para os Testes 16-22. As misturas de alimentação nos Testes 14-15, 17 e 21-22 foram previamente anotadas. No Teste 16 para fornos de soleira linear, foi usado um estrado tendo um arranjo de amontoados trapezoidais de misturas de alimentação de 89 mm (3½ polegadas) de largura por 127 mm (5 polegadas) de comprimento (e 17,46 mm (11/16 polegadas) de altura). A mistura de alimentação do teste 15 incluiu carvão betuminoso médio volátil de 100% a 115% da quantidade estequiométrica e uma Composição de Escória ($L_{1,5}FS_1$), colocado em uma camada de coque de -0,230 mm (-10 mesh). No Teste 18 de forno de soleira linear, a mistura de alimentação incluiu carvão betuminoso médio volátil de 100% a 115% da quantidade estequiométrica e uma Composição de Escória ($L_{1,5}FS_{0,5}$), colocada em uma camada de coque de -0,230 mm (-10 mesh). No Teste 19 do forno de soleira linear, a mistura de alimentação incluiu carvão betuminoso médio volátil de 115% a 120% da quantidade estequiométrica e uma Composição de Escória ($L_{1,5}FS_1$), colocada em uma camada de coque de -0,230 mm (-10 mesh). No Teste 20 do forno de soleira linear, a mistura de alimentação incluiu carvão betuminoso médio volátil de 115% a 120% da quantidade estequiométrica e uma Composição de Escória ($L_{1,5}FS_1$), colocada em uma camada de coque de -0,230 mm (-10 mesh).

Conforme mostrado na figura 40, há uma diferença entre as concentrações de CO a 1427°C (2600°F) e 1441°C (2625°F). Os números iniciais são a leitura de CO quando a temperatura do forno recuperou

1427°C (2600°F). As concentrações de CO aumentaram assintomaticamente com o tempo e se aproximaram dos números finais na direção do fim dos testes. É aparente que tanto o número inicial quanto o número final são maiores em 1427°C (2600°F) que em 1441°C (2625°F). Com um aumento
 5 de 13,9°C (25°F) na temperatura, os queimadores estavam expelindo mais gases de combustão para manter a temperatura e, portanto, diluiu o CO gerado pela reação de solução de carbono, impedindo, portanto, a carburação do ferro metálico. De fato, os produtos a 1441°C (2625°C) pareceram formar menos pepitas de ferro totalmente fundidas do que a 2427°C (2600°F). Assim,
 10 pode ser necessário suprimir-se o movimento do gás no forno.

As quantidades de micropepitas nos testes de forno de soleira linear eram também grandes, por exemplo, na faixa de 10 a 15%, conforme resumido na figura 41. A tabela da figura 41 mostra os efeitos dos níveis de espatoflúor e adições de carvão bem como da temperatura. Não houve pa-
 15 râmetros notáveis que se correlacionaram com a formação de micropepitas. Nos testes nos fornos de laboratório de tubo e de caixa, as quantidades de micropepitas na Composição de Escória ($L_{1,5}FS_{0,5-4}$) eram menores que um pequeno percentual conforme mostrado e descrito em relação à figura 23. O alto teor de CO_2 e o gás de forno altamente turbulento pode requerer o uso
 20 de carvão acima da quantidade estequiométrica, e o teor de carvão nas misturas de alimentação próximas da camada de soleira pode ter permanecido alto durante o processamento, provocando portanto a formação de grandes quantidades de micropepitas.

Em vista do acima, em uma modalidade da presente invenção, o
 25 uso de uma mistura de alimentação com uma quantidade subestequiométrica de carvão próxima da camada de soleira para minimizar a formação de micropepitas, que é coberta por uma mistura de alimentação contendo carvão acima da quantidade estequiométrica para permitir a perda pela reação de solução de carbono, é usado. Em outras palavras, é necessária uma
 30 quantidade estequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) para a completa metalização e formação de pepitas de ferro metálico a partir de uma quantidade predeterminada de material ferroso redutível, o material

de redução (por exemplo, carvão) e o material ferroso que fornece uma mistura de alimentação redutível para processamento conforme uma ou mais modalidades descritas aqui. Para certas aplicações de uma mistura de alimentação com uma quantidade subestequiométrica de material carbonáceo, a camada de soleira não deve ser usada, ou a camada de soleira não deve conter qualquer material carbonáceo.

Uma modalidade de acordo com a presente invenção pode incluir o uso de uma mistura de alimentação redutível que inclui uma primeira camada de mistura redutível na camada de material de soleira que tem uma quantidade predeterminada de material ferroso redutível mas apenas entre cerca de 70 por cento e cerca de 90 por cento da quantidade estequiométrica de material de redução necessário para a sua completa metalização de modo a reduzir o potencial para a formação de micropepitas (por exemplo, tal como sugerido quando o processamento foi realizado usando-se os fornos de tubo ou de caixa). A quantidade predeterminada de material ferroso redutível pode ser determinada e variada dinamicamente no momento que o material ferroso redutível é colocado na camada de soleira. Subseqüentemente, seriam usadas uma ou mais camadas adicionais de mistura redutível que inclui uma quantidade predeterminada de material ferroso redutível e entre cerca de 105 por cento e cerca de 140 por cento da quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a sua completa metalização. Como tal, a mistura de alimentação redutível incluiria camadas de mistura tendo quantidades estequiométricas diferentes de material de redução (por exemplo, a porcentagem estequiométrica aumentando à medida que se move para fora da camada de soleira).

Conforme discutido acima, em certos fornos (por exemplo tal como fornos aquecidos com gás natural com alto teor de CO_2 e atmosfera de gás altamente turbulento), o material carbonáceo adicionado (por exemplo, carvão), à mistura de alimentação (por exemplo, tal como aquelas misturas redutíveis aqui descritas) é perdido pela reação de solução de carbono (Boudouard) em certas zonas do forno (por exemplo, zonas de preaquecimento e de redução). Para compensar pela perda, pode ser necessário adi-

cionar-se material de redução (por exemplo, material carbonáceo) acima da quantidade estequiométrica necessária para completar a sua metalização do mesmo. Entretanto, também conforme descrito aqui, tal adição de material de redução (por exemplo, carvão) acima da quantidade estequiométrica pode levar à formação de grandes quantidades de micropepitas. Tal formação de micropepitas parece estar relacionada à quantidade de material de redução em uma área próxima da camada de soleira que permanece alta durante o processamento.

Conforme indicado aqui, uma adição de material de redução um tanto abaixo da quantidade estequiométrica minimiza a formação de tais micropepitas. Como tal, é descrita aqui uma mistura de alimentação (por exemplo, uma mistura redutível) com uma quantidade estequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) próxima da camada de soleira recoberta com mistura redutível contendo material de redução acima da quantidade estequiométrica necessária à sua completa metalização para minimizar a formação de micropepitas. Também, a perda de material de redução adicionado (por exemplo, carvão) durante o processamento pela reação de solução de carbono pode ser minimizada pela compactação da mistura de redução em várias formas (por exemplo, a formação de compactos ou briquetes da mistura redutível). As figuras 11A-11F mostram várias formas de formar misturas de alimentação (por exemplo, mistura redutível) pela compactação enquanto também incorpora a idéia do uso de quantidade subestequiométrica de material de redução em uma área próxima da camada de soleira. Por exemplo, tal mistura redutível formada pode incluir qualquer composição descrita aqui ou pode incluir outras composições de misturas de alimentação que atendam as necessidades de pelo menos uma porção subestequiométrica do material e pelo menos uma parte do material que inclui uma quantidade de material de redução acima da quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a completa metalização da mistura redutível.

As figuras 11A-11B mostram uma camada múltipla preformada de bolas secas 280 de mistura redutível para uso em uma ou mais modali-

dades de um processo de pepitas de ferro metálico. A figura 11A mostra uma vista plana das bolas de múltiplas camadas 280 da mistura redutível e a figura 11B mostra uma seção transversal da bola de múltiplas camadas 280. Conforme mostrado na figura 11B, a bola 280 inclui uma pluralidade de ca-

5 madas 284-285 de material redutível. Embora apenas duas camadas sejam mostradas, são possíveis mais de duas camadas. A camada 284 da bola 280 é formada de mistura redutível com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, entre 70% e 90% da quantidade este-

10 quiométrica necessária para a completa metalização), enquanto a camada 285 da bola 280 (por exemplo, o interior da bola 280) é formada de mistura redutível contendo material de redução acima da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização (por exemplo, maior que 100%, tal como maior que 100% mas menor que cerca de 140%). Com a bola 280 formada de tal maneira, o uso de uma mistura de alimentação com uma

15 quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) próxima à camada de soleira para minimizar a formação de micropepitas é realizada enquanto se mantém o material de redução adequado para executar a completa metalização. Será reconhecido que a bola 280 pode ser formada sem compactação ou pressão à temperatura ambiente ou a baixa

20 temperatura (por exemplo, temperatura ambiente até 300°C) mas com a utilização de um material de aglutinação .

Em uma modalidade, são feitas duas camadas de bolas tendo um tamanho que é 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ polegada) ou menor de diâmetro, por exemplo, uma camada externa tendo uma espessura de, por exemplo, 1,6 mm

25 ($\frac{1}{16}$ polegada) soma cerca de 40 por cento ou mais do peso total da bola na camada externa, enquanto uma espessura de 3,2 mm ($\frac{1}{8}$ polegada) soma cerca de 60 por cento ou mais do peso total. Como tal, com essa quantidade da camada externa tendo uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, entre 70% e 90% da quantidade este-

30 quiométrica necessária para a completa metalização), o núcleo central (isto é, a porção interna) necessitaria ser apreciavelmente maior no teor de material de redução (por exemplo, carvão) do que, por exemplo, quando são usa-

dos amontoados incluindo camadas múltiplas (por exemplo, o núcleo central pode precisar ser maior que 125 por cento da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização). Em uma modalidade, o interior da bola é formado de mistura redutível contendo material de redução acima de 105 por cento da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização mas abaixo de 140 por cento.

As figuras 11C-11D mostram modalidades exemplares de ferramentas de formação 286-287 para uso no fornecimento de compactos (por exemplo, briquetes) de mistura redutível para uso em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico. São formados briquetes com duas superfícies relativamente planas. Conforme mostrado na figura 11C, o briquete inclui três camadas 290-292. As duas camadas externas (ou camadas de topo e de fundo) 291, 292 são formadas de mistura redutível com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, entre 70% e 90% da quantidade estequiométrica necessária para completa metalização), enquanto a camada média 290 (por exemplo, a camada interior) é formada de mistura redutível contendo material de redução acima da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização (por exemplo, maior que 100%, tal como maior que 100% mas menor que cerca de 140%). Com o briquete formado de tal maneira, uma face (por exemplo, camada externa) incluindo uma mistura de alimentação com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) estará próxima à camada de soleira para minimizar a formação de micropepitas. Será reconhecido que briquete pode ser formado com pressão sendo aplicado através do elemento 287 à temperatura ambiente ou a baixa temperatura (por exemplo, da temperatura ambiente até 300°C).

A figura 11D mostra a formação de um briquete de duas camadas que pode ser formado. O briquete inclui as camadas 293-294. Uma das camadas 293 é formada de mistura redutível com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, entre 70% e 90% da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização), enquanto a outra camada 294 é formada de mistura de redução contendo material de

redução acima da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização (por exemplo, maior que 100%, tal como maior que 100% mas menos de cerca de 140%). Com o briquete formado de tal maneira, com a carga adequada na soleira, a camada incluindo uma mistura de alimentação com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) pode ser posicionada próxima à camada de soleira para minimizar a formação de micropepitas.

As figuras 11E-11F mostram modalidades de exemplo da formação de equipamentos 288 e 289 para uso no fornecimento de compactos (por exemplo, misturas em forma de abóbada e briquetes em forma de abóbada) de misturas redutíveis para uso em uma ou mais modalidades de um processo de pepitas de ferro metálico. Conforme mostrado na figura 11E, o compacto em forma de abóbada 300 inclui porções formadas das camadas 295-296. Uma das camadas 296 é formada de mistura redutível com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, entre 70% e 90% da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização), enquanto a outra camada 295 é formada de mistura redutível contendo material de redução acima da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização (por exemplo, maior que 100% tal como maior que 100% mas menor que cerca de 140%). Com o compacto em forma de abóbada 300 formado de tal maneira, a camada incluindo uma mistura de alimentação com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) é posicionada próxima à camada de soleira 281 para minimizar a formação de micropepitas. O dispositivo 288 mostra como a formação dos compactos 300 que pode ser similar àquela descrita em relação à figura 10A. Também, em uma modalidade, os compactos 302 são formados pressionando-se *in situ* na zona de preaquecimento do forno (por exemplo, 700°C a 1000°C).

Conforme mostrado na figura 11F, os compactos em forma de abóbada 302 incluem porções formadas das três camadas 297-299 (por exemplo, briquetes formadas à temperatura ambiente). As duas camadas externas (ou camadas de topo e de fundo) 297,299 são formadas de mistura

reduzível com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, entre 70% e 90% da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização) enquanto a camada média 298 (por exemplo, a camada interior) é formada de material reduzível contendo material de redução acima da quantidade estequiométrica necessária para a completa metalização (por exemplo, maior que 100% tal como maior que 100% mas menor que cerca de 140%). Com o compacto formado de tal maneira, uma face (por exemplo, a camada externa) incluindo uma mistura de alimentação com uma quantidade subestequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) estará próxima da camada de soleira para minimizar a formação de micropepitas. Em uma modalidade, cada porção do equipamento 289 mostrado para uso na formação de compactos 302 pode ser similar àquele descrito em relação à figura 10A.

Em uma modalidade, os compactos 302 são formados usando-se uma prensa tal com a mostrada nas figuras 11C-11D, mas com superfícies de moldagem de diferentes formas. Por exemplo, em uma modalidade os compactos conforme mostrados na figura 11E são formados pela prensagem a alta temperatura (por exemplo, 700°C a 1000°C) da mistura reduzível. Certos tipos de material de redução (por exemplo, carvão) podem amolecer a certa temperatura e agir como aglutinante, ou o uso de alguns aditivos de baixo ponto de fusão pode ajudar no desenvolvimento de compactos menos permeáveis. Por exemplo, um ou mais dos seguintes aditivos de baixo ponto de fusão pode ser usado: bórax (ponto de fusão 741°C); carbonato de sódio (ponto de fusão 851°C); dissilicato de sódio (ponto de fusão 874°C); fluoreto de sódio (ponto de fusão 980-997°C); e hidróxido de sódio (ponto de fusão 318,4°C).

Será reconhecido que várias formas de compactos podem ser usadas enquanto ainda se mantém o benefício de se ter uma mistura de alimentação com uma quantidade estequiométrica de material de redução (por exemplo, carvão) próxima à camada da soleira para minimizar a formação de micropepitas. As modalidades descritas aqui são dadas apenas para ilustração.

Também em relação à figura 1, a camada de mistura redutível fornecida, conforme mostrado geralmente no bloco 18, pode ser fornecida em uma ou mais entre várias maneiras (por exemplo, carvão pulverizado misturado com minério de ferro). Conforme mostrado na figura 28, a mistura redutível pode ser fornecida pela formação de microaglomerados (bloco 252) de acordo com o processo de formação do microaglomerado. Pelo menos em uma modalidade conforme a presente invenção a mistura redutível é uma camada de microaglomerados redutíveis. Além disso, em pelo menos uma modalidade, pelo menos 50% da camada de microaglomerados redutíveis inclui microaglomerados tendo um tamanho médio de cerca de 2 milímetros ou menos.

Os microaglomerados são formados (bloco 252) com o fornecimento de material ferroso redutível (por exemplo, material de óxido de ferro, tal como minérios de ferro)(bloco 260) e com o uso de material de redução (bloco 256). Opcionalmente, um ou mais aditivos (bloco 250) podem ser adicionalmente misturados com o material ferroso redutível e o material de redução conforme descrito aqui em relação a outras modalidades (por exemplo, cal, soda de barrilha, espatoflúor, etc.). É então adicionada água (bloco 254) na formação de microaglomerados. Por exemplo, em uma modalidade um misturador (por exemplo, como aquele de um misturador de base ("stand") de uma cozinha comercial) pode ser usado para misturar todos os componentes até que eles sejam conformados em pequenas estruturas de microaglomerados.

A alimentação direta de partículas secas, tais como concentrados de taconita e carvão pulverizado, em fornos aquecidos a gás, resultaria em uma grande quantidade de partículas sendo apagadas como poeira pelo movimento dos gases do forno. Portanto, a microaglomeração da mistura de alimentação é desejável. Por exemplo, a mistura direta de bolo úmido de filtro de concentrados de taconita e carvão moído seco com adição ótima de água pode gerar microaglomerados por uma técnica de mistura adequada tal como misturadores Pekay, misturadores de pás ou misturadores de tiras. Distribuições de tamanho típicas dos microaglomerados em função dos

diferentes níveis de umidade estão mostrados na figura 29.

A alimentação de microaglomerados aos fornos de soleira tem várias vantagens. Os microaglomerados podem ser alimentados aos fornos de soleira sem rupturas, com perdas mínimas de poeira, e com propagação uniforme sobre as superfícies da soleira. Então, os microaglomerados, uma vez colocados na soleira, podem ser compactados nas estruturas em forma de amontoados conforme descrito aqui (por exemplo, formas piramidais, amontoados redondos, estruturas em forma de abóbadas, etc.).

A tabela da figura 30 mostra as velocidades finais dos microaglomerados em função do tamanho e da velocidade do ar, calculadas considerando-se que a densidade aparente dos microaglomerados é de 2,8 e a temperatura do ar é de 1371°C (2500°F). Tamanhos de partículas com velocidades finais menores que a velocidade do ar seriam apagadas como poeira nos fornos aquecidos a gás. Para evitar perda de poeira, em pelo menos uma modalidade é desejável ter-se pelo menos 50% da camada de microaglomerados redutíveis inclui microaglomerados tendo um tamanho médio de cerca de 2 milímetros ou menos. Em relação à figura 29, é notado que, em tal caso, os microaglomerados devem ser formados com cerca de 12% de umidade para alcançar tal distribuição de microaglomerados.

O teor de umidade para fornecer as propriedades desejadas ao microaglomerado dependerá de vários fatores. Por exemplo, o teor de umidade dos microaglomerados dependerá pelo menos da fineza (ou grossura) e do comportamento de absorção de água da mistura de alimentação. Dependendo de tal fineza da mistura de alimentação, o teor de umidade pode estar dentro de uma faixa de cerca de 10 por cento a cerca de 20 por cento.

A figura 31 mostra que pepitas de ferro totalmente fundidas são formadas com alimentação de microaglomerados, mas tiveram pouco efeito na geração de micropepitas, se comparado com os produtos de uma mistura de alimentação de pó seco sob as mesmas condições. A alimentação de microaglomerados foi feita a partir de um concentrado magnético com 5,7% de SiO₂, carvão betuminoso médio volátil a 80% da necessidade estequiométrica para metalização, e a composição de escória (A). O teor de umidade

foi de cerca de 12% para a alimentação de microaglomerados. A mesma mistura de alimentação foi usada para alimentação seca (mas sem a adição de umidade). Os produtos resultantes foram conformados em um padrão de 2 segmentos em botes, aquecidos no forno de tubo a 1400°C por 7 minutos em uma atmosfera de N_2 -CO.

A figura 31A mostra os resultados do uso da mistura redutível de alimentação seca, enquanto a figura 31B mostra os resultados de uma mistura de alimentação de microaglomerados. Conforme mostrado, nenhuma micropepita adicional significativa foi formada e as pepitas de ferro metálico foram substancialmente as mesmas tanto para a mistura de alimentação seca quanto para a mistura de microaglomerados. Entretanto, com o uso da microaglomeração, é fornecido o controle da poeira.

Qualquer tipo de arrumação em camadas do microaglomerado pode ser usada. Por exemplo, os microaglomerados redutíveis podem ser fornecidos peço fornecimento de uma primeira camada de microaglomerados redutíveis na camada de material de soleira. Subseqüentemente, uma ou mais camadas adicionais de microaglomerados redutíveis podem ser fornecidas sobre a primeira camada. O tamanho médio dos microaglomerados redutíveis de pelo menos uma das camadas adicionais fornecidas deve ser diferente em relação ao tamanho dos microaglomerados fornecidos previamente. Por exemplo, o tamanho pode ser maior ou menor que o das camadas fornecidas previamente. Em uma modalidade, a alimentação de microaglomerados em camadas com aglomerados mais brutos no fundo e com tamanhos decrescentes para o topo pode minimizar a mistura de minério de ferro/misturas de carvão com o material de soleira na base (por exemplo, camada de coque pulverizado), minimizando portanto a geração de micropepitas.

O uso de camadas de mistura redutível tendo diferentes quantidades estequiométricas de material de redução pode ser usado vantajosamente em combinação com o uso de microaglomerados conforme descrito aqui. (por exemplo, a porcentagem estequiométrica aumenta à medida que se afasta da camada de soleira). Por exemplo, microaglomerados de tama-

nho maior (por exemplo, aglomerados mais brutos) juntamente com menores porcentagens estequiométricas de material de redução podem ser usados para materiais adjacentes à camada de soleira. Camadas adicionais tendo maiores porcentagens estequiométricas e microaglomerados de tamanhos decrescentes (por exemplo, aglomerados mais finos) podem então ser fornecidos aos microaglomerados mais brutos e de menor porcentagem na camada de soleira.

Todas as patentes, documentos de patentes, e referências citadas aqui estão incorporadas em sua totalidade como se cada uma tivesse sido incorporada separadamente. A invenção foi descrita em relação às modalidades ilustrativas e não foi construída com sentido de limitação. Conforme descrito previamente, uma pessoa versada na técnica reconhecerá que outras várias aplicações ilustrativas podem usar as técnicas conforme descritas aqui para tirar vantagem das características benéficas das partículas geradas aqui. Várias modificações das modalidades ilustrativas, bem como modalidades adicionais à invenção, serão aparentes para pessoas versadas na técnica em relação a essa descrição.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para uso na produção de pepitas metálicas de ferro (63,71) compreendendo as etapas de:

5 proporcionar uma soleira móvel (42) compreendendo material refratário;

 proporcionar mistura redutível (46) acima de pelo menos uma porção do material refratário, a mistura redutível (46) compreendendo pelo menos material de redução e material reduzível contendo ferro;

10 em que uma quantidade estequiométrica de material de redução é a quantidade necessária para a completa metalização e formação de pepitas metálicas de ferro (63, 71) a partir de uma quantidade de material reduzível contendo ferro;

 proporcionar a partir de outra fonte, material carbônico adicional separado da mistura redutível (46); e

15 tratar termicamente a mistura redutível (46) a uma temperatura maior do que 1000 °C para formar uma ou mais pepitas metálicas de ferro (63,71);

caracterizado pelo fato de que ainda compreende a etapa de formar a mistura redutível (46) para ter a dita quantidade de material redutível contendo ferro e entre 70% e 90% da quantidade estequiométrica de material de redução necessária para a completa metalização.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de proporcionar material carbônico adicional compreende:

25 proporcionar uma camada de material de soleira (46) em pelo menos uma parte do material refratário, a camada de material de soleira (46) compreendendo pelo menos material carbônico; e

 a etapa de proporcionar mistura redutível (46) acima de pelo menos uma porção do material refratário compreende proporcionar a mistura redutível (46) em pelo menos uma porção da camada de material de soleira (42).

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo**

fato de que a etapa de proporcionar a mistura redutível (46) acima da camada de material de soleira (46) compreende:

proporcionar uma ou mais camadas de mistura redutível (46) na camada de material de soleira; e

5 formar uma pluralidade de aberturas de canais (50,74,84,94,104,124) se estendendo pelo menos parcialmente para dentro da camada da mistura redutível (46) definindo uma pluralidade de pepitas formando regiões de material redutível (59);

 pelo menos parcialmente preencher as aberturas de canal
10 (50,74,84,94,104,124) com material de preenchimento de separação de pepitas, o material de preenchimento de separação de pepitas compreendendo pelo menos material carbônico, e

 a etapa de tratar termicamente a camada compreende termicamente tratar a camada de mistura redutível (46) formando uma pepita metálica de ferro em uma ou mais da pluralidade de pepitas formando as regiões
15 de material redutível (59).

 4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** uma ou mais da pluralidade de regiões de material redutível formador de pepitas (59) compreendem um amontoado de mistura redutível
20 (46) compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada.

 5. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de aberturas de canais (50,74,84,94,104,124) se estende para dentro da camada da mistura redutível (46) até uma profundidade do canal, e pelo menos um quarto da profundidade do canal sendo
25 preenchido com material de separação de pepitas.

 6. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de aberturas de canais (50,74,84,94,104,124) se estende para dentro da camada de mistura redutível (46) até uma profundidade do canal, e menos de três quartos da profundidade do canal sendo
30 preenchido com material de separação de pepitas.

 7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** a mistura redutível (46) compreende um ou mais amontoados

de mistura redutível (46) compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada.

8. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** a mistura redutível (46) compreende compactos.

5 9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** os compactos têm uma densidade menor do que 2,4.

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** os compactos têm uma densidade entre 1,4 e 2,2.

10 11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, **caracterizado pelo fato de que** os compactos compreendem pelo menos um entre os elementos do grupo consistindo em briquetes e briquetes parciais.

15 12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, **caracterizado pelo fato de que** os compactos compreendem pelo menos um elemento do grupo consistindo em amontoados compactados da mistura redutível (46) compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada, amontoados compactados em forma de abóbada da mistura redutível (46), e amontoados compactados em forma de pirâmide da mistura redutível (46).

20 13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, **caracterizado pelo fato de que** os compactos compreendem bolas compactadas.

25 14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de proporcionar a mistura redutível (46) compreende proporcionar um ou mais amontoados de mistura redutível (46) compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada.

15. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de proporcionar a mistura redutível (46) compreende proporcionar um ou mais compactos.

30 16. Método, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de proporcionar a mistura redutível (46) compreende formar um ou mais compactos in situ dentro de uma zona de um siste-

ma de forno usada para tratar termicamente a mistura redutível (46).

17. Método, de acordo com a reivindicação 15 ou 16, **caracterizado pelo fato de que** os compactos compreendem pelo menos um elemento do grupo consistindo em que briquetes e briquetes parciais.

5 18. Método, de acordo com a reivindicação 15 ou 16, **caracterizado pelo fato de que** os compactos compreendem pelo menos um elemento do grupo consistindo em que amontoados compactados da mistura redutível (46) compreendendo pelo menos uma porção curva ou inclinada, amontoados compactados de mistura redutível (46) na forma de abóbada, e
10 amontoados compactados de mistura redutível (46) na forma de pirâmide.

19. Método, de acordo com a reivindicação 15 ou 16, **caracterizado pelo fato de que** os compactos compreendem bolas compactadas.

20. Método, de acordo com a reivindicação 1 a 2, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de proporcionar a mistura redutível (46) compreende proporcionar bolas secas.
15

21. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de proporcionar a mistura redutível (46) compreende proporcionar compactos, e ainda compreende a etapa de proporcionar material de redução adjacente a pelo menos uma porção dos compactos.

20 22. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 21, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de tratar termicamente a camada de mistura redutível (46) compreende tratar a camada de mistura redutível (46) a uma temperatura de menos de 1450°C.

23. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 21, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de tratar termicamente a camada de mistura redutível (46) compreende tratar a camada de mistura redutível (46) a uma temperatura de menos de 1400°C.
25

24. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 21, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de tratar termicamente a camada de mistura redutível compreende tratar a camada de mistura redutível (46) a uma temperatura menor que 1375°C.
30

25. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a

21, **caracterizado pelo fato de que** a etapa de tratar termicamente a camada de mistura redutível (46) compreende tratar a camada de mistura redutível (46) a uma temperatura de menos de 1350°C.

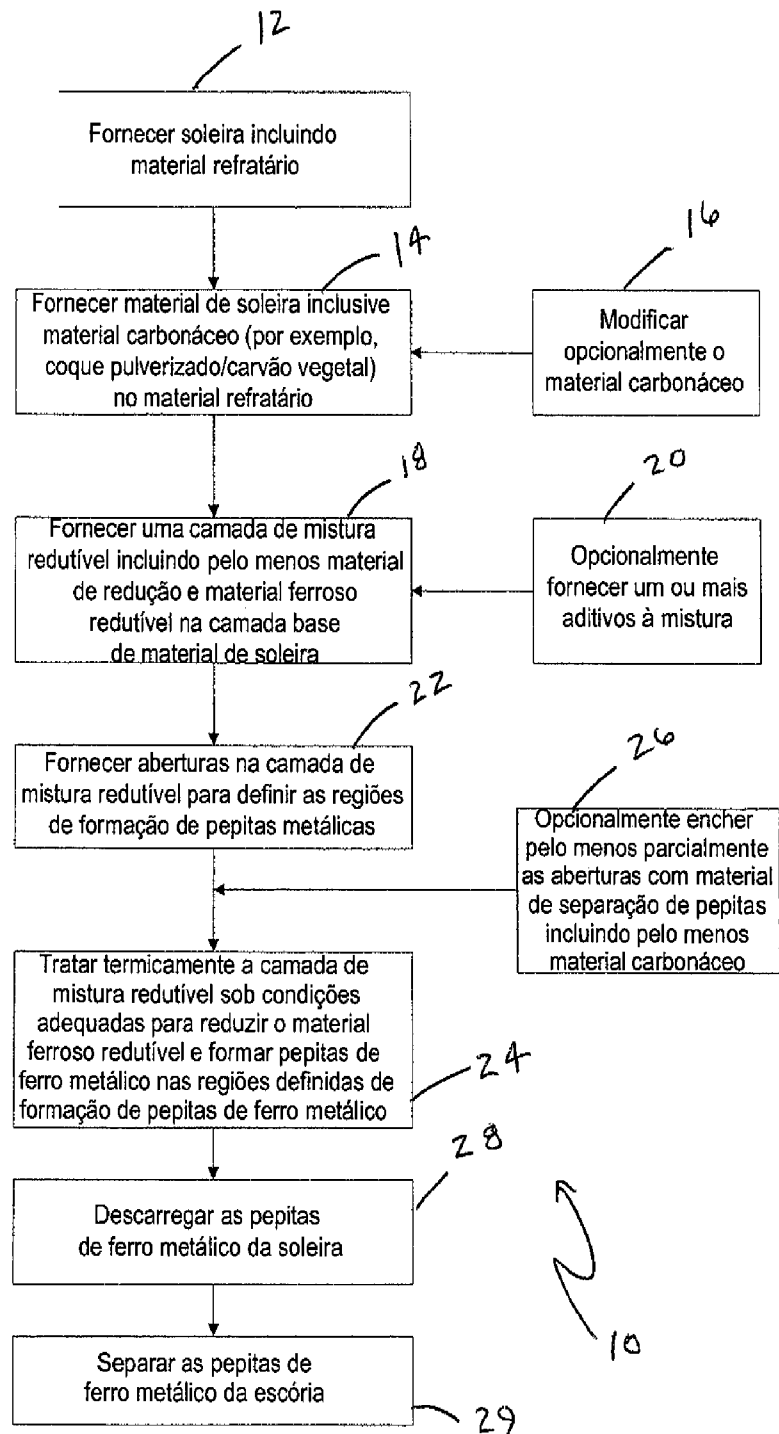


FIG 1

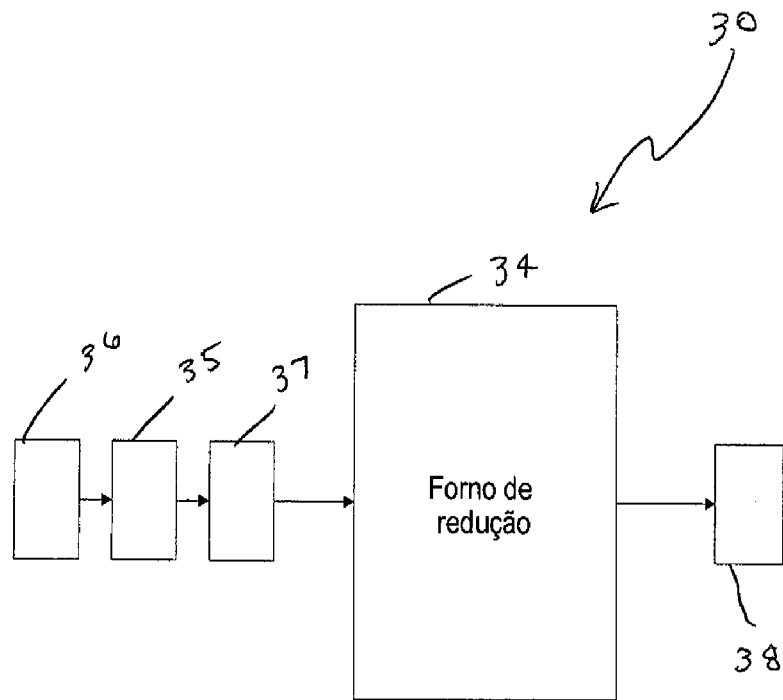


FIG 2A

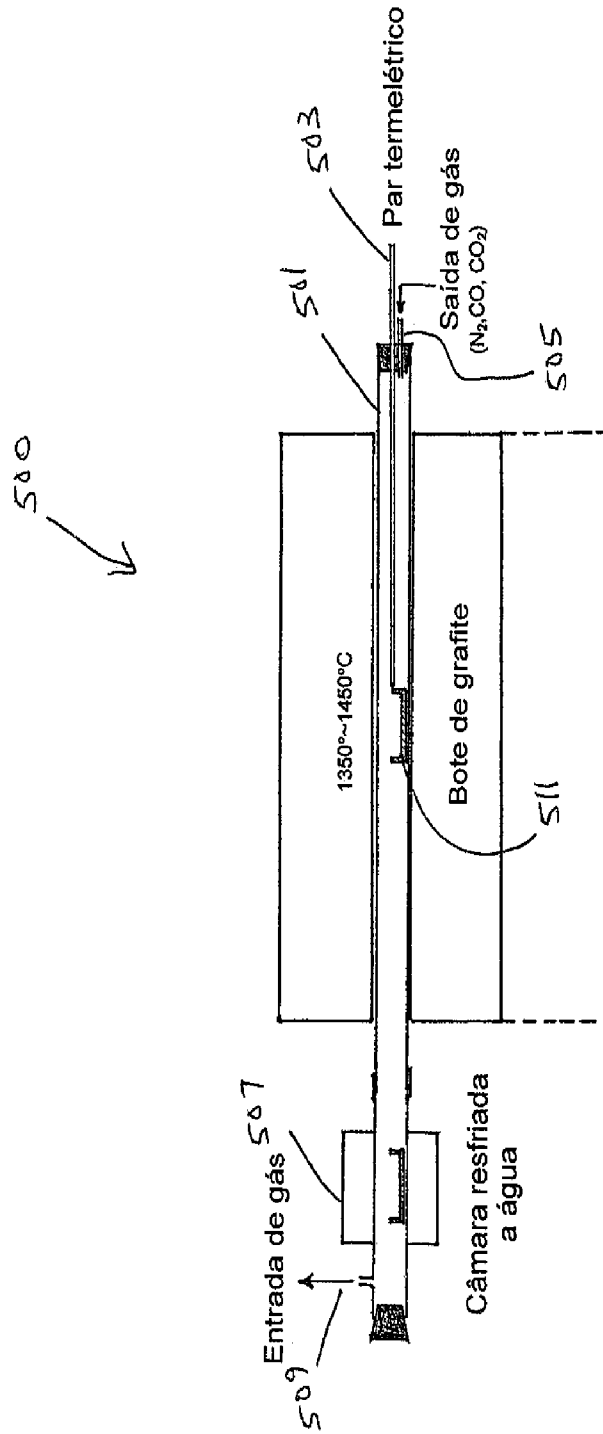


FIG 2B

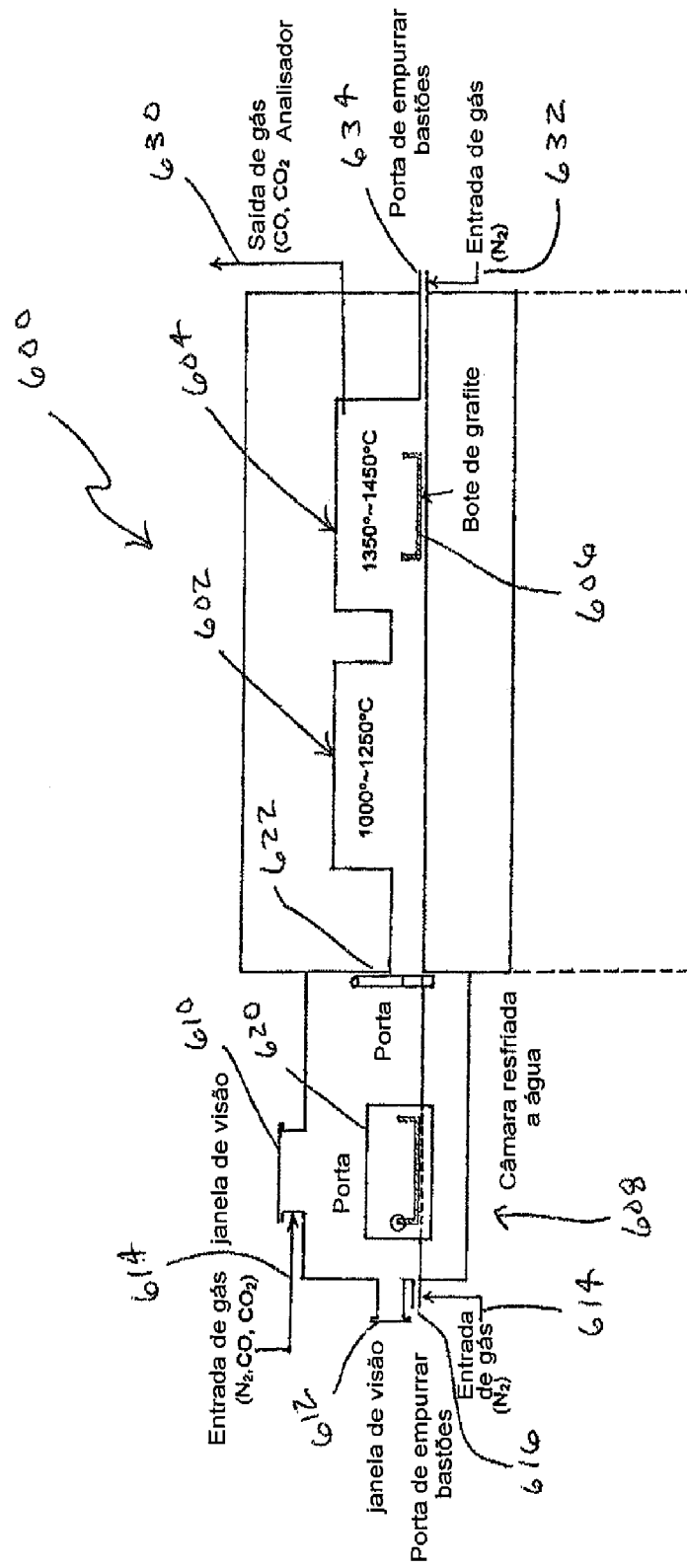


FIG 2C

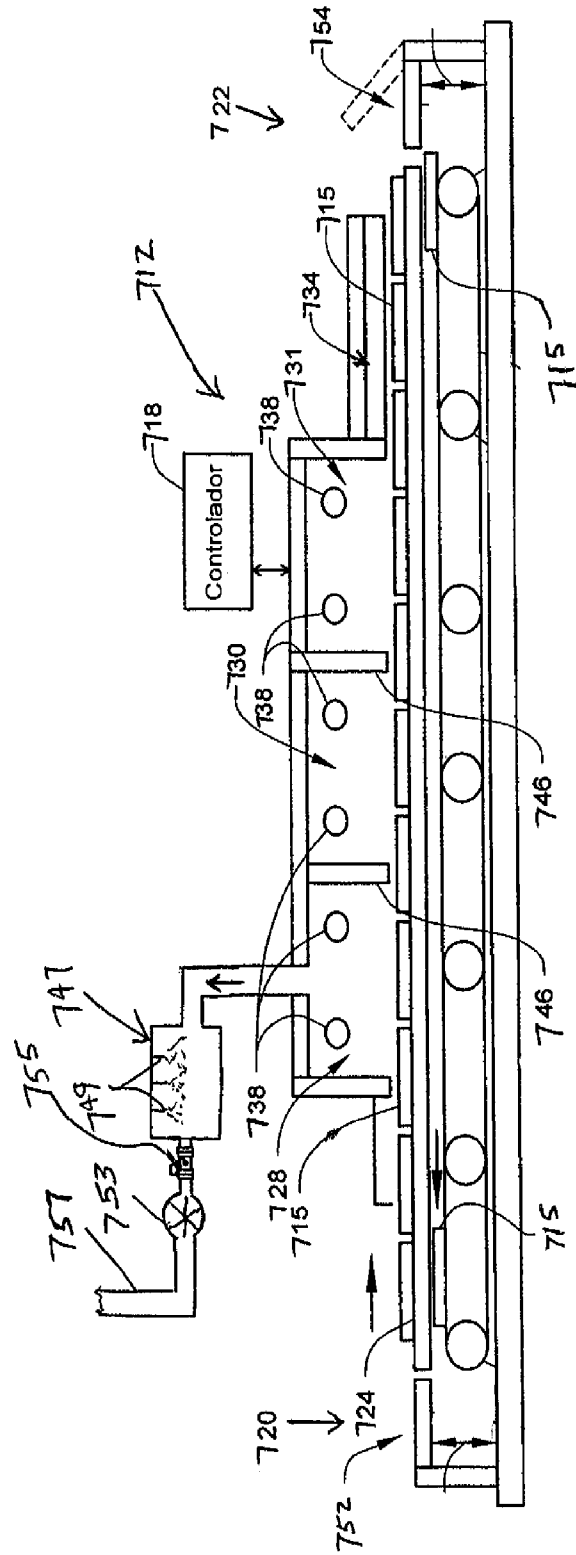


FIG 2D

FIG 3A

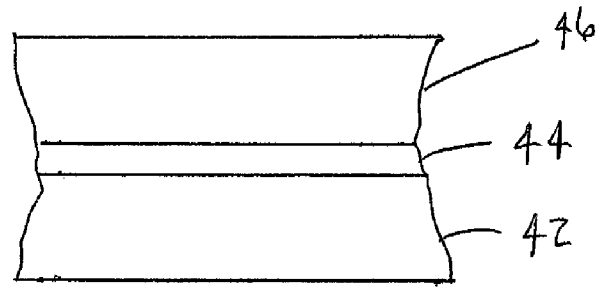


FIG 3B

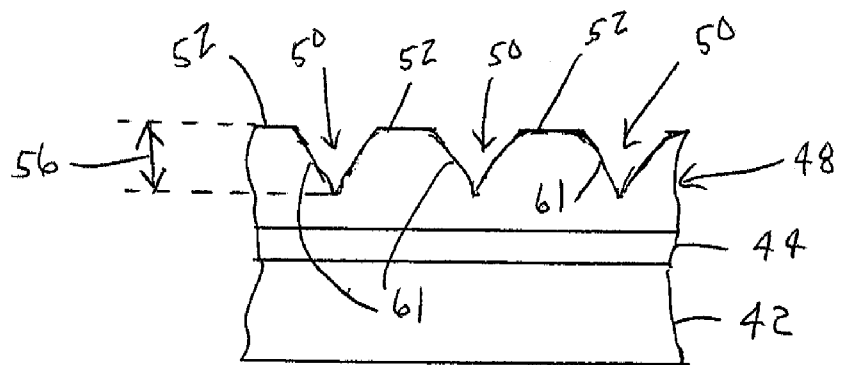


FIG 3C

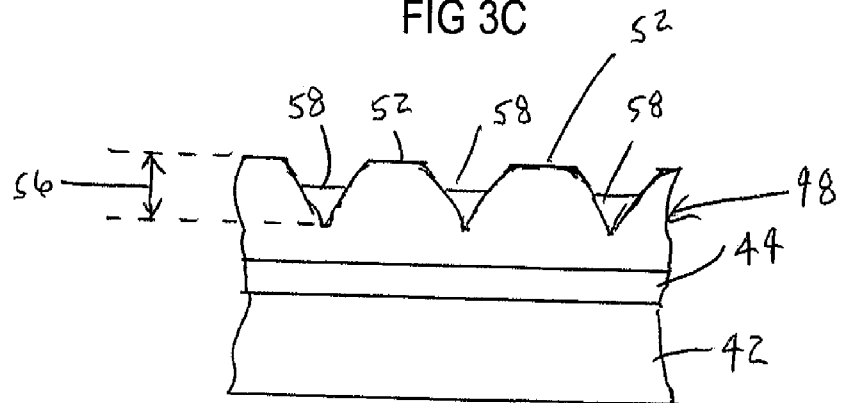


FIG 3D

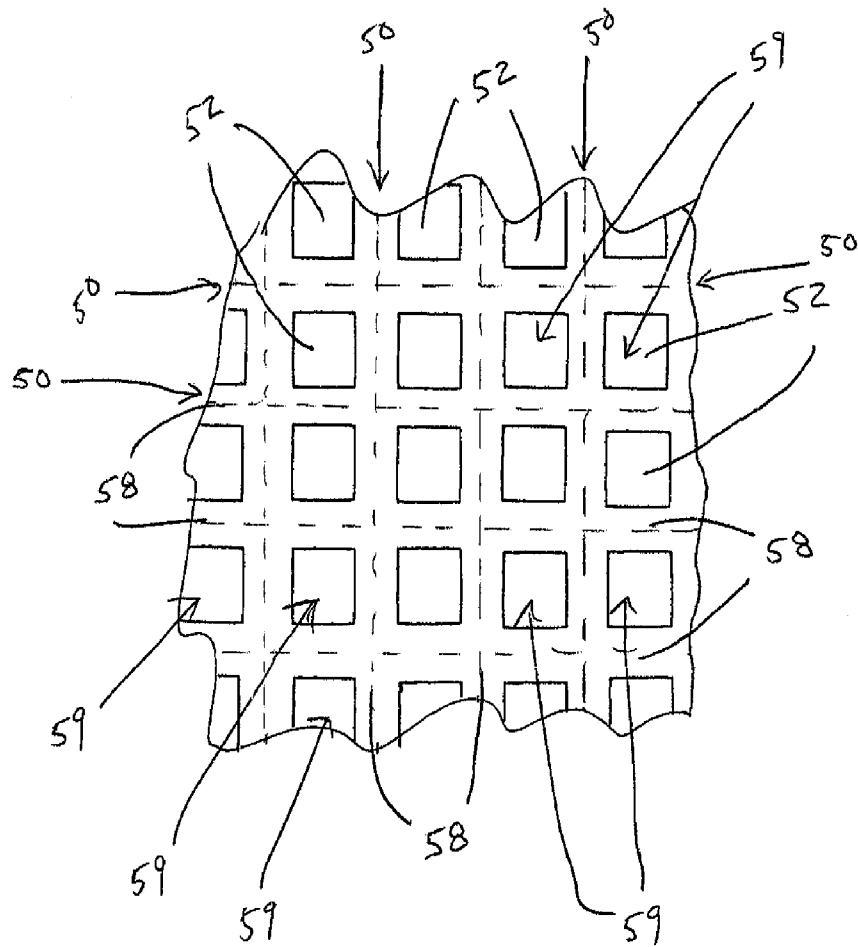
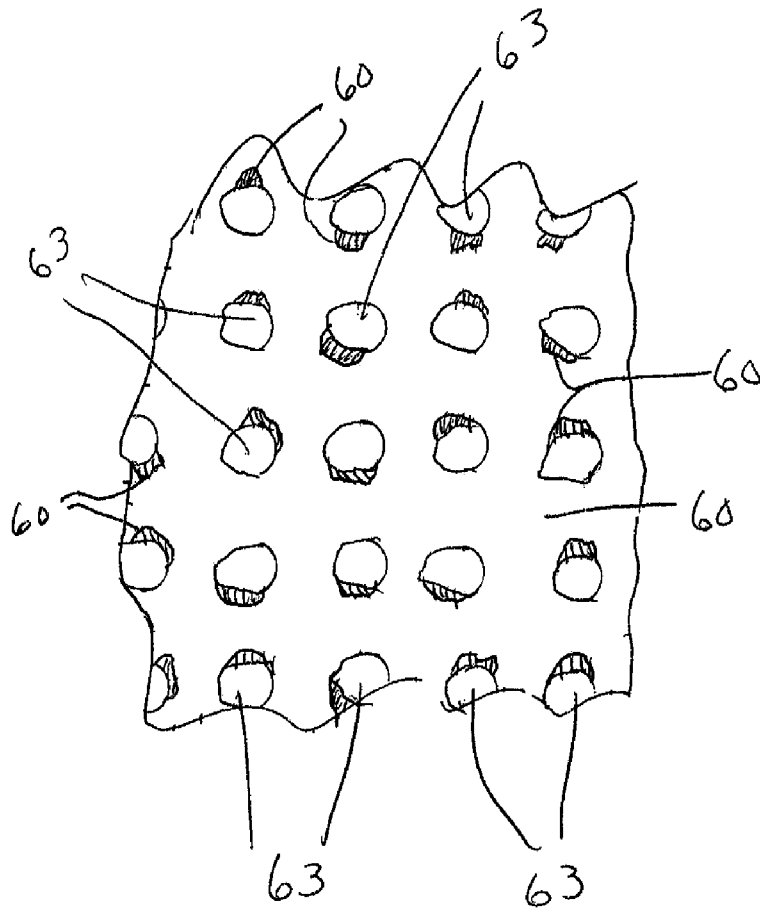


FIG 3E



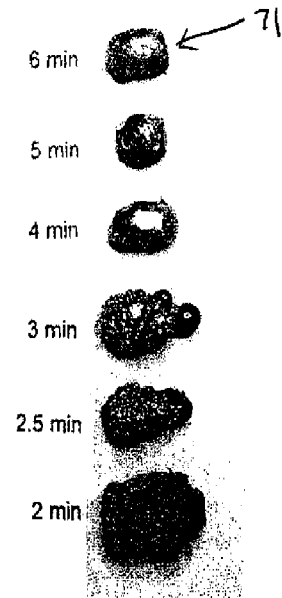
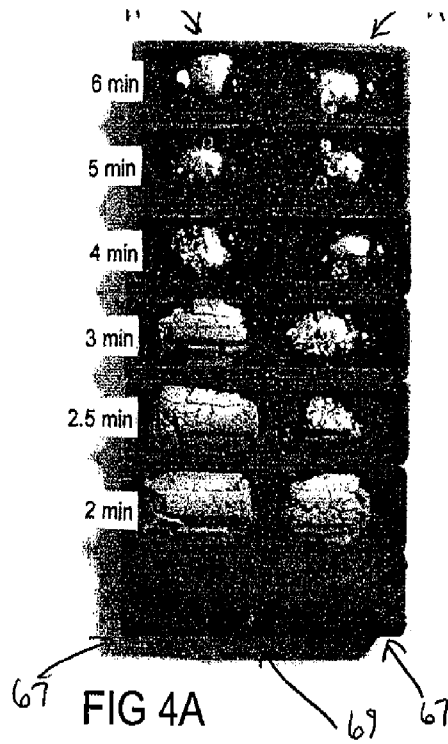


FIG 4B

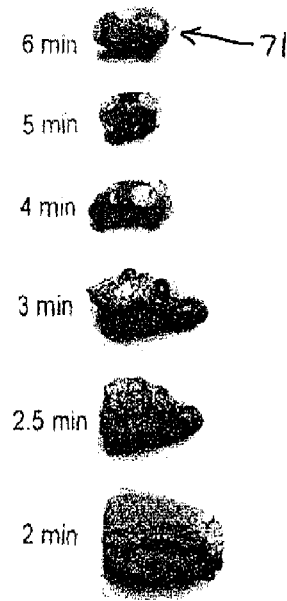


FIG 4C

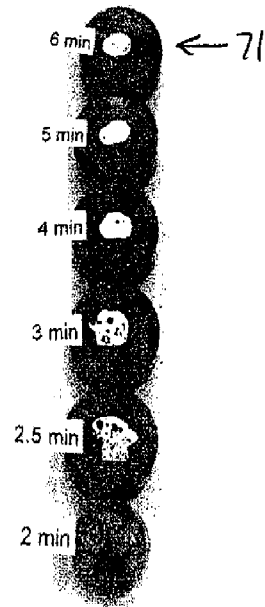


FIG 4D

FIG 5A

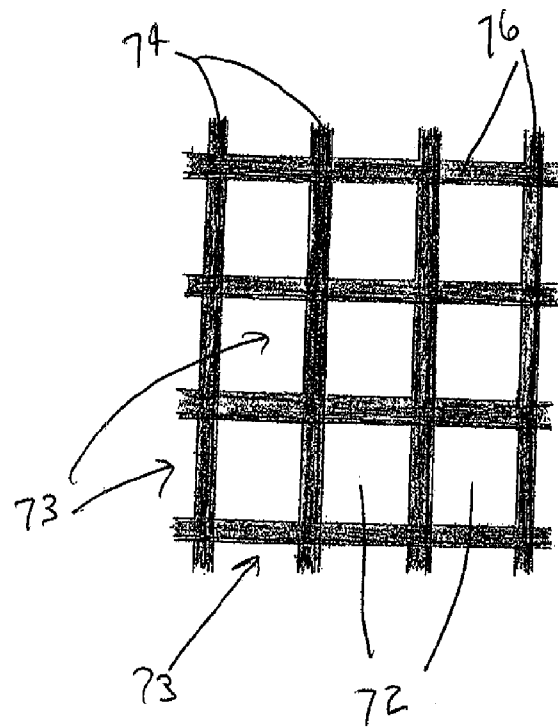
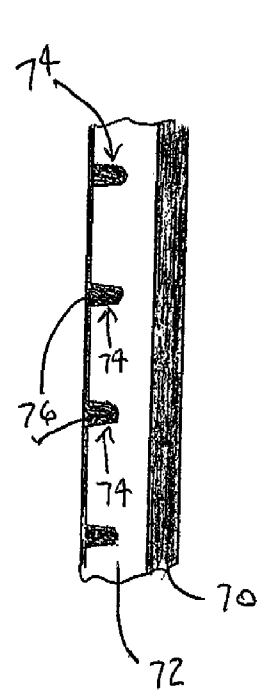


FIG 5B



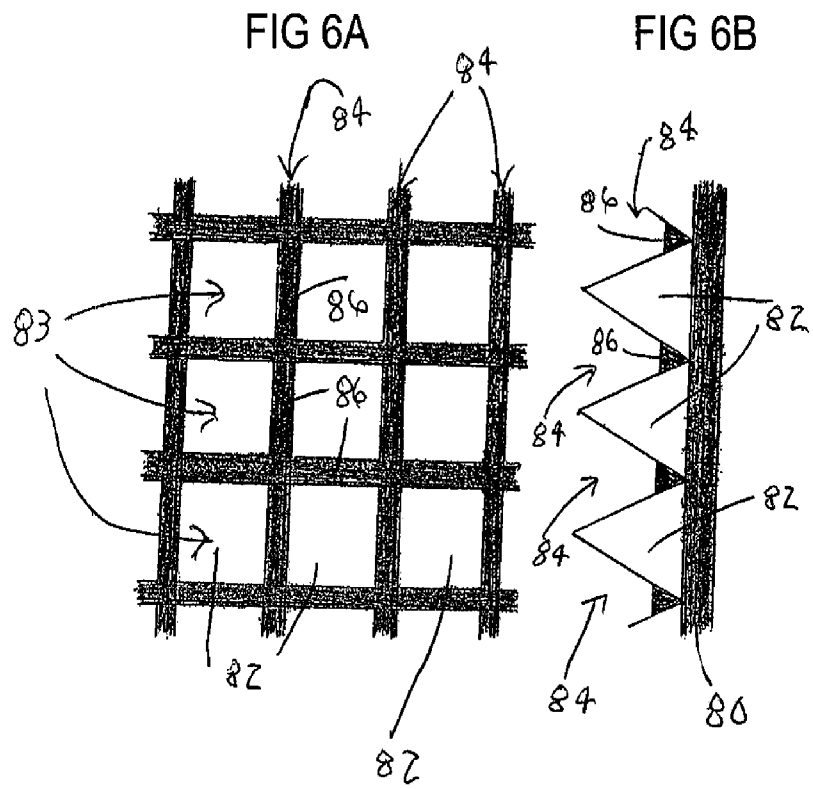


FIG 7A

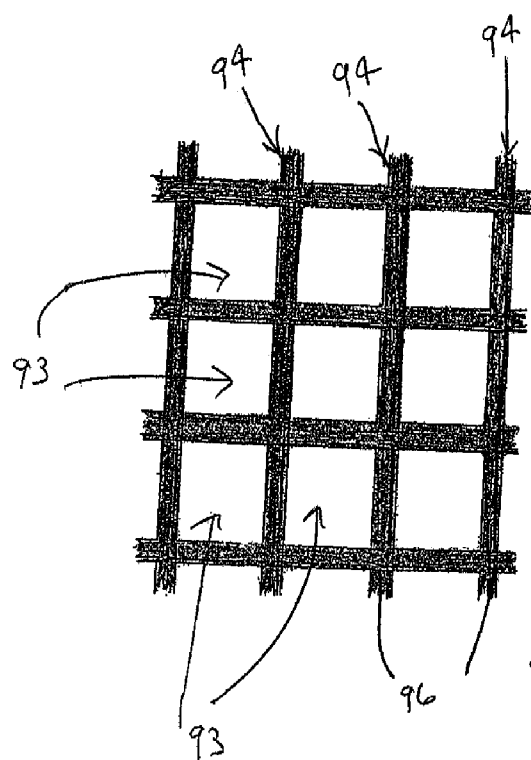
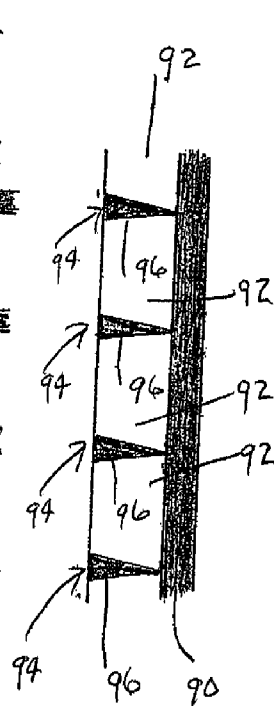


FIG 7B



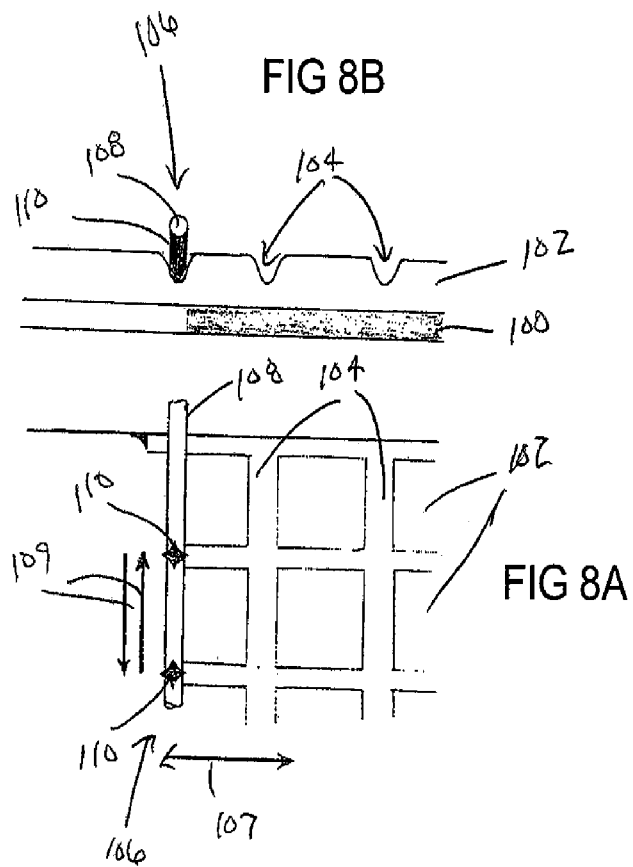


FIG 9B

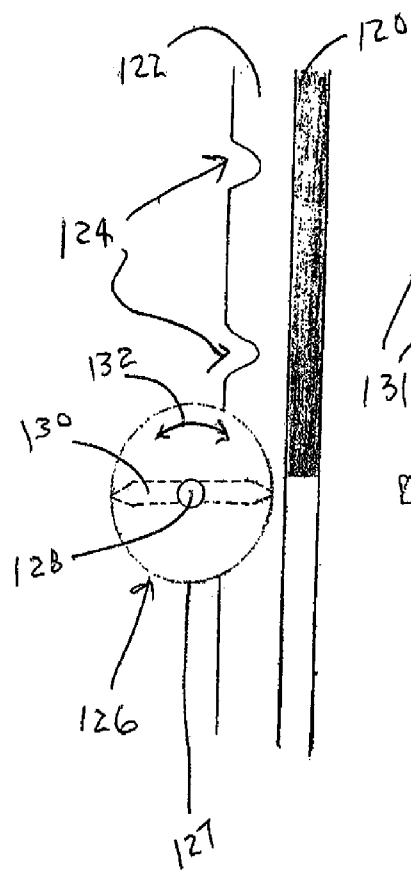


FIG 9A

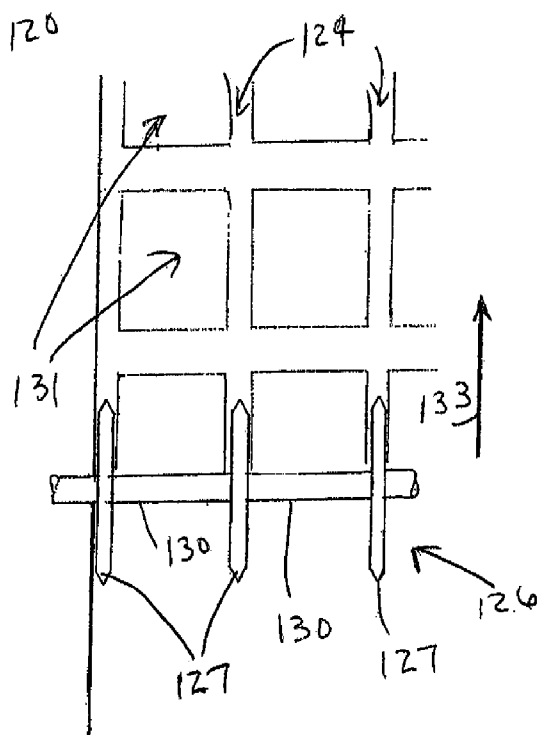


FIG 10A

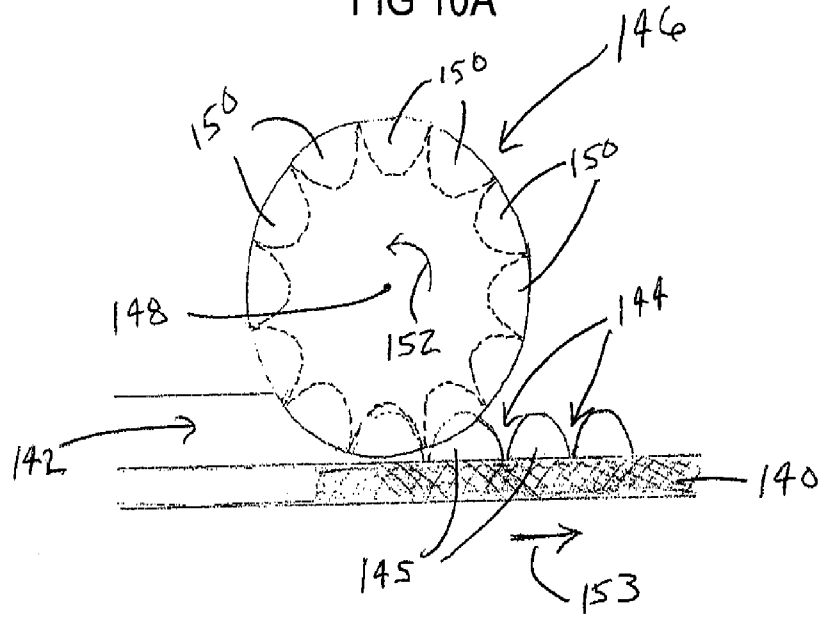
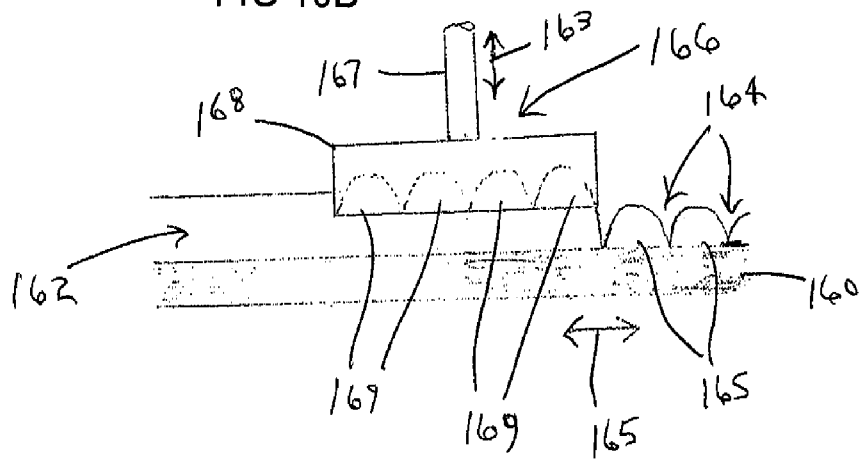


FIG 10B



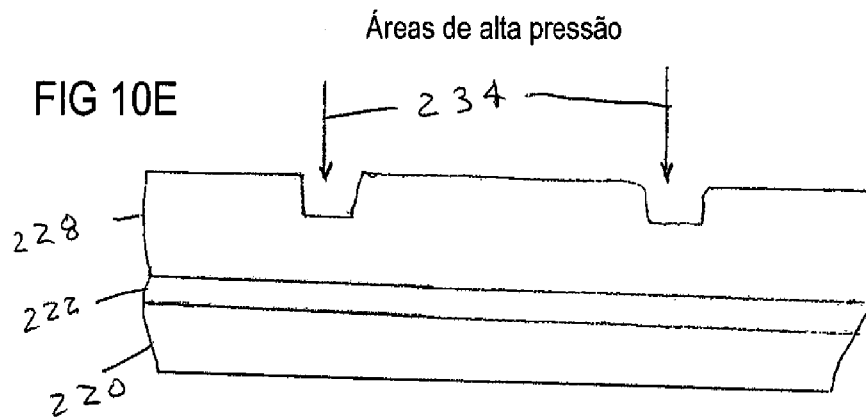
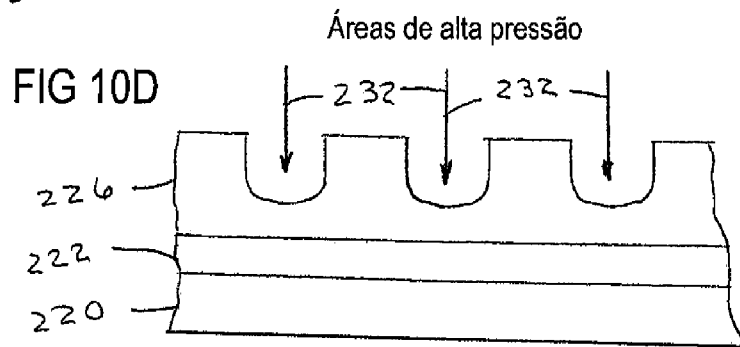
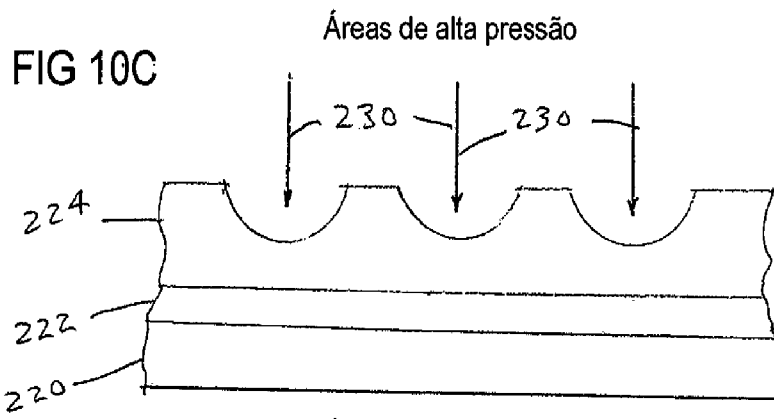


FIG 11A

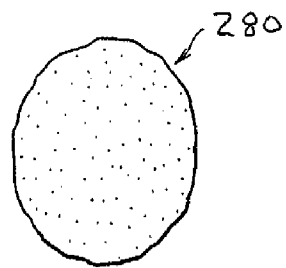


FIG 11B

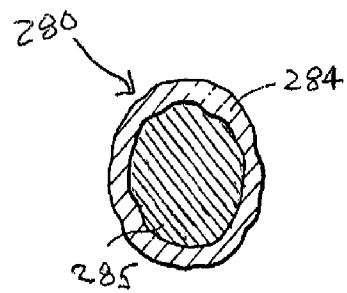


FIG 11C

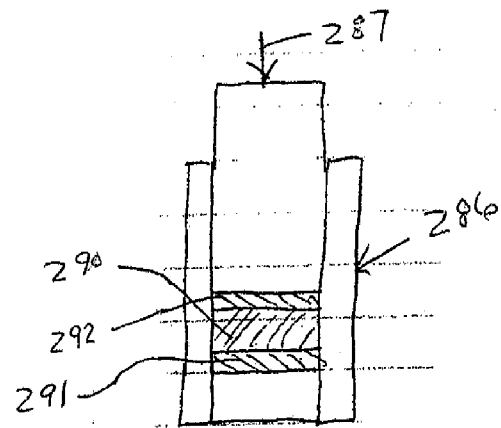


FIG 11D

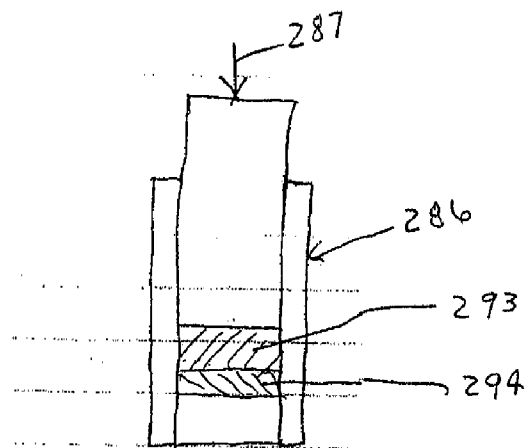


FIG 11E

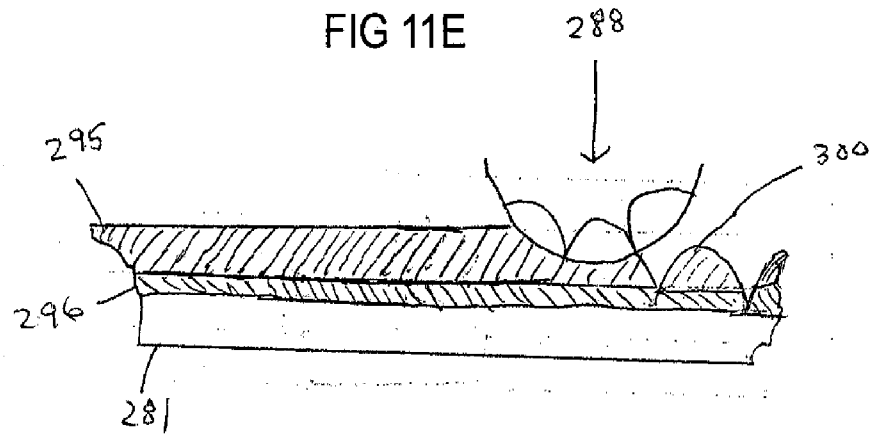


FIG 11F

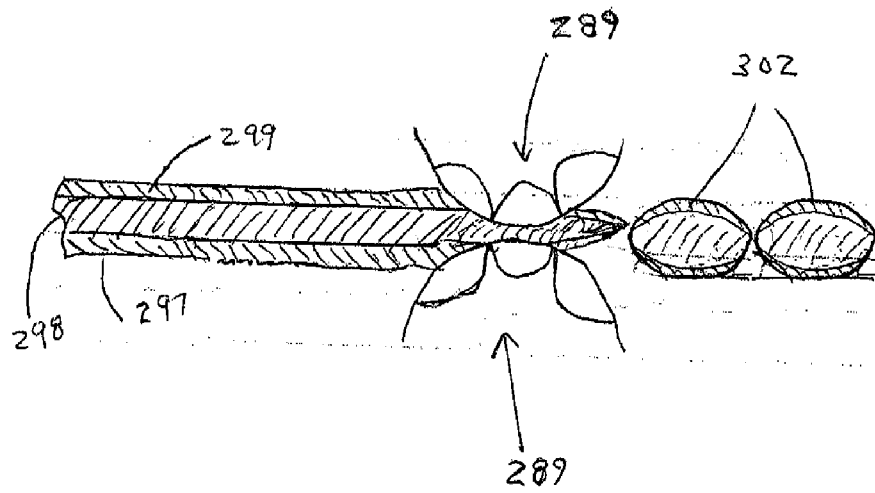




FIG 12A

FIG 12B

FIG 12C

FIG 13A

FIG 13B

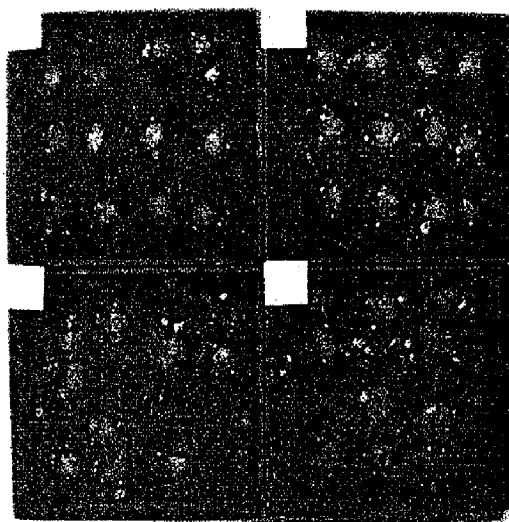


FIG 13C

FIG 13D

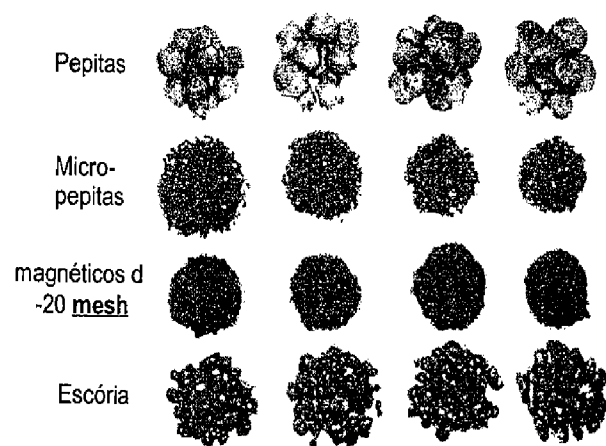


FIG 14A FIG 14B FIG 14C FIG 14D

FIG 15A

FIG 15B

FIG 15C

FIG 15D

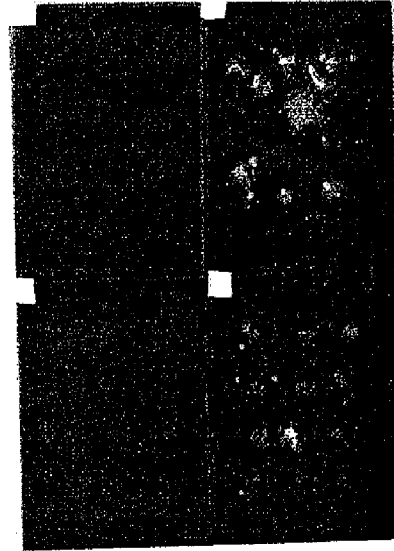


FIG 16

	Material de soleira	% de micro-pepitas
12 bolas	Coque	0.4
36 bolas	Coque	0.8
12 abóbadas alongadas	Coque	13.9
	Al_2O_3	3.7
	(50:50) Coque- Al_2O_3	6.2
	$\text{Al}(\text{OH})_3$ - Coque (6%)	3.9
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Coque revestido (12%)	14.2

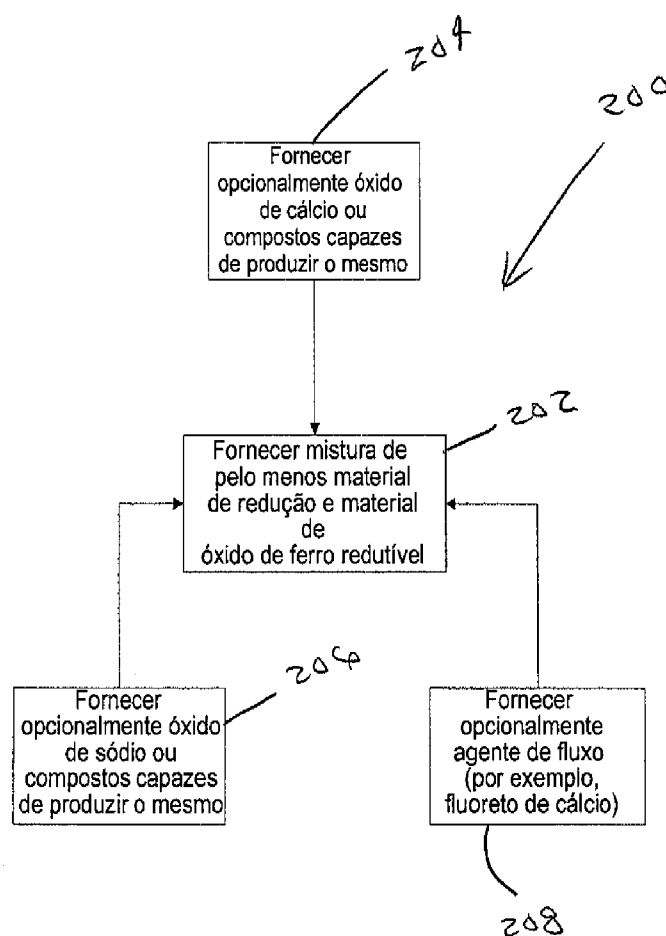


FIG 17

FIG 18

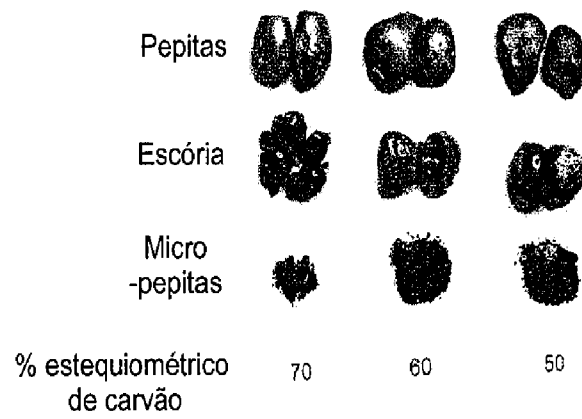
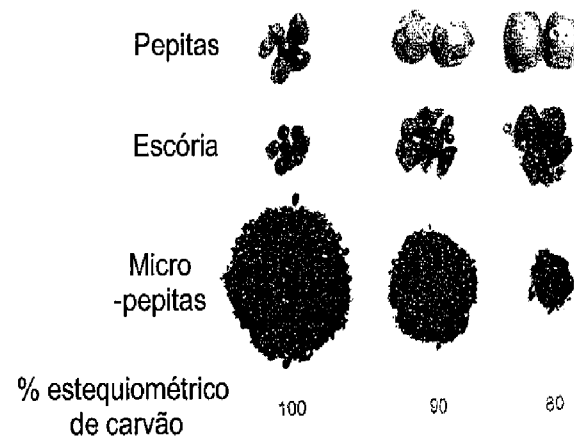


FIG 19

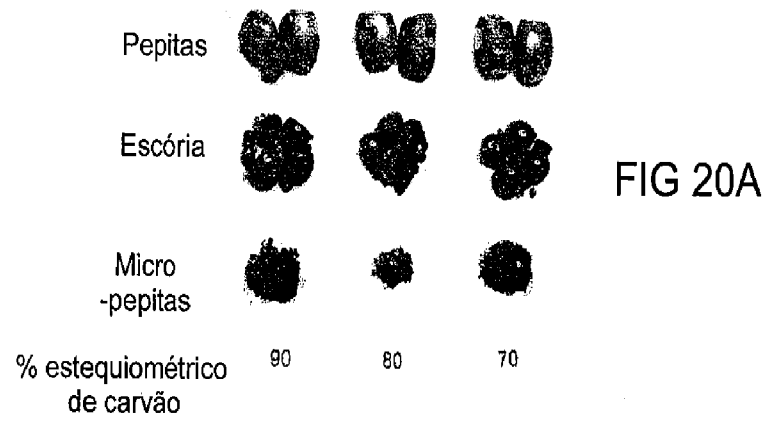


FIG 20A

Composição (A)

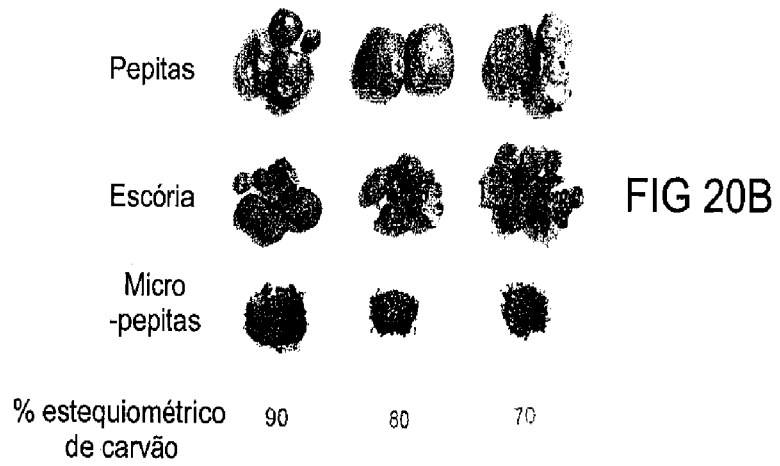


FIG 20B

Composição (L)

FIG 21A

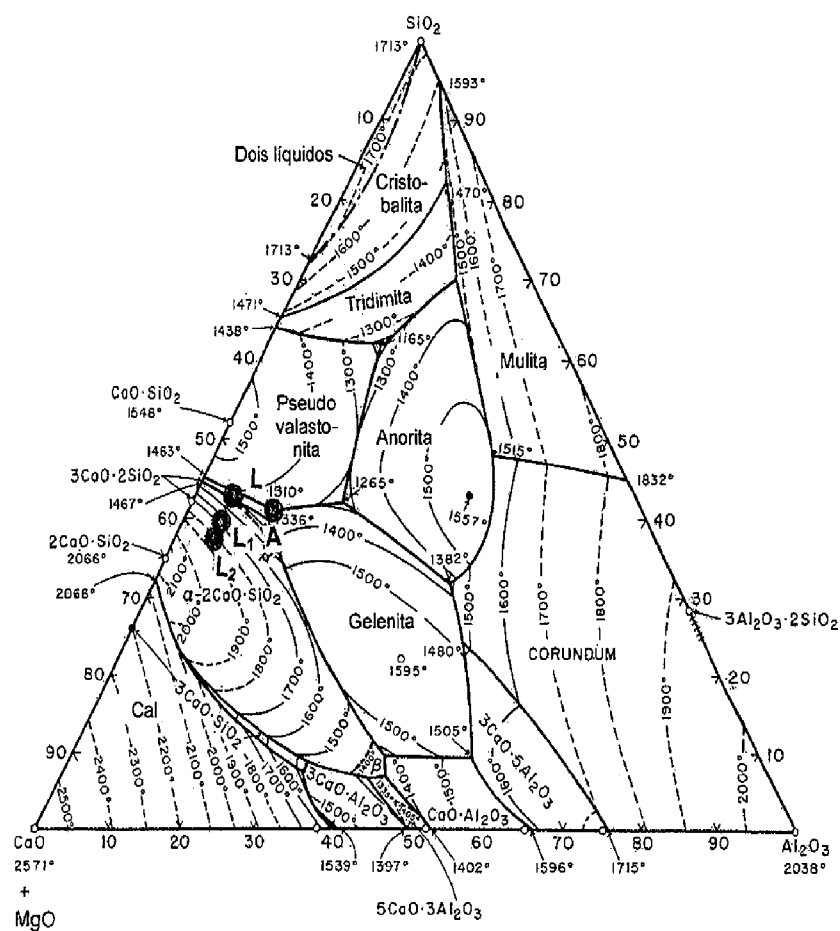


FIG 21B

	Ponto de fusão, °C	SiO_2	Al_2O_3	CaO	C/S	B/A
A	1310	41	11.5	47.5	1.16	0.90
L	1385 ~1400	42	6	52	1.24	1.08

FIG 22

%CaF ₂	composição da escória	Distribuição do peso %			
		Pepitas	Micro-pepitas	magnéticos de -20 mesh	Escória
0	L _{0,5}	67.6 89.2*	8.2 10.8	4.6	19.6
0.25	L _{0,5} CF _{0,25}	76.5 98.1	1.5 1.9	2.5	19.5
0.5	L _{0,5} CF _{0,5}	78.1 99.4	0.5 0.6	1.5	19.9
0.75	L _{0,5} CF _{0,75}	76.6 97.9	1.7 2.1	1.2	20.5
1	L _{0,5} CF ₁	77.5 98.9	0.8 1.1	1.7	20.0
1.25	L _{0,5} CF _{1,25}	76.6 99.4	0.5 0.6	1.7	21.2
1.5	L _{0,5} CF _{1,5}	75.9 99.1	0.7 0.9	2.0	21.4
1.75	L _{0,5} CF _{1,75}	76.1 99.5	0.4 0.5	1.2	22.3
2	L _{0,5} CF ₂	74.8 98.7	1.0 1.3	1.9	22.3

*Números em negrito representam as quantidades relativas de pepitas e micro-pepitas

FIG 23

CaF ₂ adicionado	Temp. °C	% de micro-pepitas geradas				
		L	L _{0.5}	L ₁ ⁺	L _{1.5} ⁺	L ₂ ⁺
0	1400	8.8 [*]	5.3 [*] , 10.8 [†]	7.4 ^{**} , 21.5	22.2 ^{**}	26.6 ^{**}
0.5			0.6	1.4	0.6	1.7
1		0.5 [*]	1.1, 1.2 [†]	0.8 , 0.2	0.6	0.5
2			1.3	0.3	1.3	0.9
4				0.2	2.2	2.4
0	1350		17.9	26.7 ^{***}	16.5 ^{***}	— ^{****}
0.5				1.4	0.7 ^{**}	2.2 ^{**}
1		1.6 [*]	2.5 [*] , 0.9	2.8, 1.4 , 3.9 [†]	0.6	0.4
2				1.3	1.1	1.4
4				1.6	1.8	2.6
0	1325			—	—	—
0.5				—	—	—
1				1.2 ^{**} , 5.5 [†] , 6.0	0.0 [*]	8.7 ^{**}
2				0.4 ^{**}	0.7 [*]	9.5 [*]
4				1.4 ^{**}	3.1 ^{**}	2.2 ^{**}

* Fluorita usada em lugar do CaF₂

* Quase fundido

** Não muito fundido

*** Parcialmente fundido

**** Reduzido mas não agregado

FIG 24

fluorita adicionada %	Composição da escória	L ₁		L _{1.5}		L ₂	
		%C	%S	%C	%S	%C	%S
0	L _m	2.84	0.072	2.26	0.058	2.13	0.050
0.5	L _m FS _{0.5}	3.27	0.060	3.06	0.055	2.80	0.048
1	L _m FS ₁	3.36	0.058	3.63	0.041	3.25	0.038
2	L _m FS ₂	3.67	0.043	3.86	0.021	3.73	0.015
4	L _m FS ₄	3.77	0.030	4.22	0.013	4.12	0.009

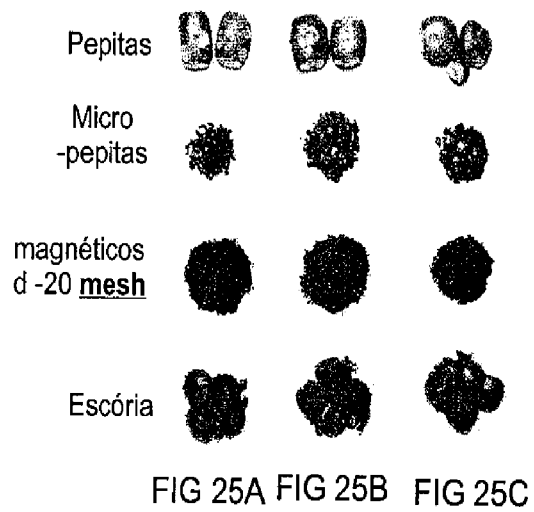


FIG 26

Na ₂ CO ₃ adicionado	Composição da escória	% de S nas pepitas de ferro				
		L	L _{0.5}	L ₁ **	L _{1.5} **	L ₂ **
0*	L _m	0.084	0.081	0.072	0.058	0.050
2*	L _m SC ₂	—	0.031	—	—	—
0	L _m CF ₁	0.083	0.074	0.064	0.041	0.038
0.25	L _m CF ₁ SC _{0.25}	0.069	0.053	0.045	—	—
0.5	L _m CF ₁ SC _{0.5}	0.058	0.050	0.038	0.028	0.032
1	L _m CF ₁ SC ₁	0.043	0.043	0.030	0.029	0.029
2	L _m CF ₁ SC ₂	0.043	0.024	0.020	0.021	0.018

* nenhum CaF₂ adicionado** Usado fluorita em vez de CaF₂ químico

m % de cal adicional sobre a composição L

FIG 27

Temp. °C	%C	%S
1400	3.25	0.029
1350	2.89	0.022
1325*	2.28	0.013

*Quase fundido

FIG 28

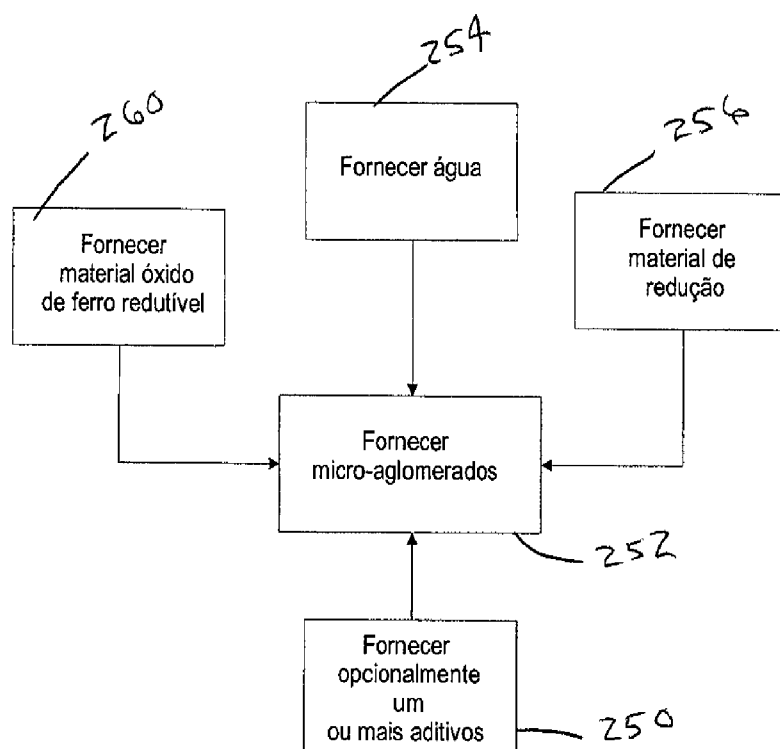


FIG 29

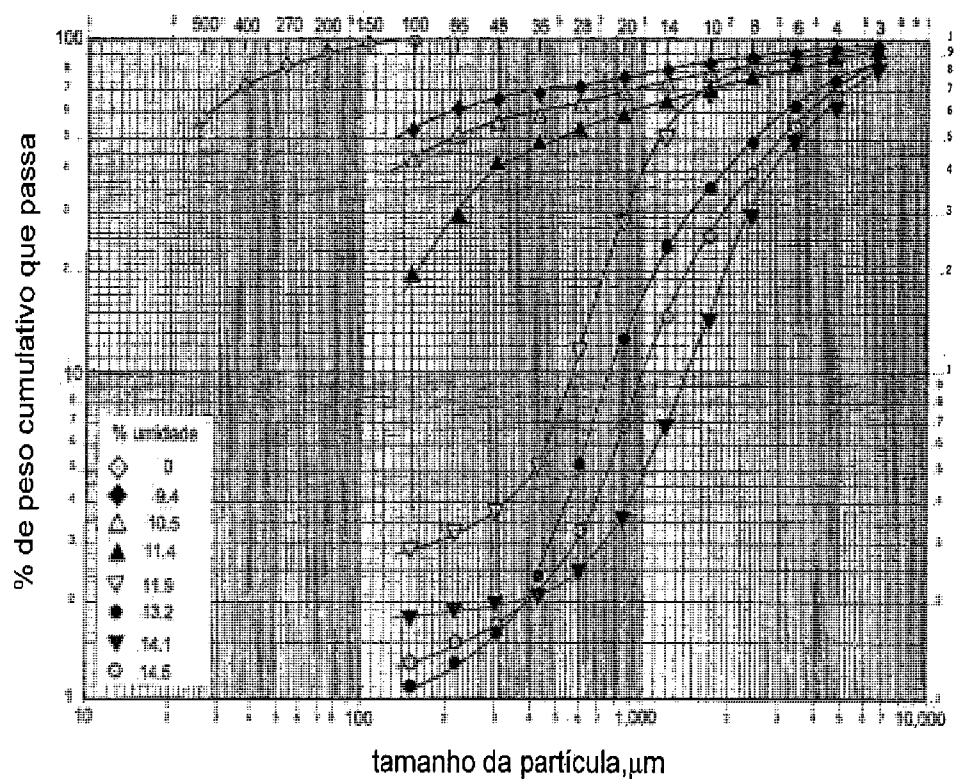
tamanho da peneira, mesh

FIG 29

FIG 30

Velocidade, m/s	Diámetro, mm												
0.05	9.75	8.24	6.70	5.11	3.48	1.78	0.91	0.73	0.55	0.37	0.28	0.18	0.09
0.1	12.88	10.95	8.96	6.90	4.74	2.46	1.26	1.01	0.77	0.51	0.39	0.26	0.13
0.2	16.60	14.21	11.72	9.11	6.34	3.35	1.74	1.40	1.06	0.72	0.54	0.36	0.18
0.3	19.00	16.34	13.55	10.60	7.44	3.98	2.09	1.69	1.28	0.87	0.66	0.44	0.22
0.4	20.79	17.94	14.93	11.74	8.29	4.48	2.37	1.92	1.46	0.99	0.75	0.51	0.26
0.5	22.23	19.22	16.04	12.66	8.99	4.90	2.61	2.12	1.62	1.10	0.83	0.56	0.29
0.75	24.91	21.63	18.15	14.41	10.33	5.72	3.09	2.52	1.93	1.32	1.01	0.68	0.35
1	26.86	23.39	19.69	15.72	11.34	6.36	3.46	2.83	2.18	1.50	1.14	0.78	0.40
1.5	29.69	25.93	21.93	17.61	12.83	7.31	4.05	3.33	2.57	1.78	1.36	0.93	0.48
2	31.73	27.78	23.56	19.00	13.93	8.02	4.49	3.71	2.88	2.00	1.54	1.06	0.55
2.5	33.34	29.23	24.85	20.09	14.79	8.59	4.86	4.02	3.13	2.19	1.69	1.17	0.61
3	34.66	30.43	25.91	20.99	15.51	9.07	5.17	4.29	3.35	2.35	1.82	1.26	0.66
3.5	35.80	31.46	26.81	21.76	16.12	9.49	5.44	4.52	3.54	2.49	1.93	1.34	0.71
4	36.79	32.35	27.60	22.43	16.66	9.85	5.67	4.72	3.71	2.62	2.04	1.42	0.75

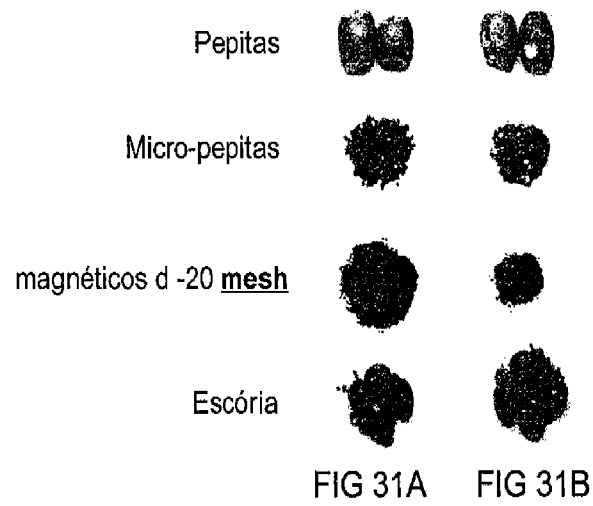


FIG 32A

	Base de análise	Matéria volátil	Carbono fixo	Cinzas	Enxofre	% Umidade	Btu/lb
Antracita*	Como recebido em base seca	4.72 4.77	83.66 84.60	10.51 10.63	0.55 0.56	1.11 —	12,832 12,976
Betuminoso baixo volátil I*	Como recebido em base seca	17.49 17.81	73.73 75.05	7.01 7.14	0.72 0.73	1.77 —	14,191 14,447
Betuminoso baixo volátil II*	Como recebido em base seca	18.56 19.34	75.39 77.14	6.07 6.21	1.03 1.06	2.27 —	14,309 14,642
Betuminoso baixo volátil III*	Como recebido em base seca	17.76 19.06	70.63 75.78	4.81 5.16	0.72 0.77	6.80 —	13,980 15,000
Betuminoso baixo volátil IV*	Como recebido em base seca	18.56 19.34	71.84 74.90	5.53 5.76	0.85 0.89	4.07 —	14,089 14,686
Betuminoso médio volátil I*	Como recebido em base seca	22.24 22.62	66.10 67.24	9.97 10.14	0.42 0.42	1.69 —	13,546 13,779
Betuminoso médio volátil II*	Como recebido em base seca	21.55 21.83	72.20 73.12	4.98 5.05	0.64 0.64	1.27 —	14,817 15,008
Betuminoso médio volátil III*	Como recebido em base seca	21.64 21.81	67.67 68.21	9.90 9.98	0.40 0.40	0.79 —	13,816 13,925

FIG 32B

	Base de análise	Matéria volátil	Carbono fixo	Cinzas	Enxofre	% Umidade	Btu/lb
Betuminoso médio volátil IV*	Como recebido em base seca	22.81	67.40	9.37	0.47	0.42	13,960
		22.90	67.69	9.41	0.47	—	14,019
Betuminoso alto volátil I*	Como recebido em base seca	31.52	60.98	5.52	0.93	1.98	14,309
		32.16	62.20	5.64	0.95	—	14,598
Betuminoso alto volátil II*	Como recebido em base seca	35.43	51.21	7.09	1.72	6.27	12,962
		37.80	54.64	7.56	1.83	—	13,829/
Sub-betuminoso	Como recebido em base seca	39.99	41.71	5.20	0.47	13.10	10,742
		46.02	47.99	5.99	0.54	—	12,361
Coque	Como recebido em base seca	1.38	89.48	8.96	0.47	0.18	12,905
		1.38	89.64	8.98	0.47	—	12,929
Grafite	Como recebido em base seca	0.87	98.90	0.11	0.01	0.12	14,047
		0.87	99.02	0.11	0.01	—	14,063
carvão vegetal sub-betuminoso I*	Como recebido em base seca	10.26	66.13	22.10	0.13	1.51	10,619
		10.41	67.15	22.44	0.13	—	10,782
carvão vegetal sub-betuminoso II	Como recebido em base seca	1.43	73.94	24.19	0.17	0.44	11,200
		1.44	74.26	24.30	0.17	—	11,249

FIG 32C

	Base de análise	Matéria volátil	Carbono fixo	Cinzas	Enxofre	% Umidade	Btu/lb
carvão vegetal sub-betuminosoIII*	Como recebido em base seca	10.10 10.59	77.87 81.67	7.38 7.74	0.12 0.13	4.65 —	13,142 13,782
carvão vegetal sub-betuminosoIV	Como recebido em base seca	9.04 9.27	79.87 81.98	8.60 8.82	0.29 0.30	2.49 —	12,614 12,937

FIG 32D

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
Antracita	51.99	30.64	2.06	1.36	9.21
Betuminoso baixo volátil I	47.29	25.34	6.69	1.49	11.09
Betuminoso baixo volátil II	49.69	25.25	5.98	1.04	11.84
Betuminoso baixo volátil III	34.50	22.79	11.70	2.11	16.95
Betuminoso baixo volátil IV	50.39	33.59	2.44	1.05	8.69
Betuminoso médio volátil I	55.30	30.91	3.97	0.52	5.18
Betuminoso médio volátil II	47.56	32.38	4.76	1.55	7.25
Betuminoso médio volátil III	58.34	26.99	2.15	0.43	7.89
Betuminoso médio volátil IV	57.44	27.65	1.97	0.54	6.80
Betuminoso alto volátil I	53.91	30.11	2.77	1.20	8.72
Betuminoso alto volátil II	48.41	22.58	3.90	1.06	19.91
Sub-betuminoso	37.61	13.64	14.36	3.77	
carvão vegetal sub-betuminoso I	35.46	11.70	32.04	11.93	5.06
carvão vegetal sub-betuminoso III	15.76	19.70	36.17	6.99	6.87

FIG 33

	Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Concentrado magnético . I	67.2		5.74	0.18	0.31	0.45
Concentrado magnético . II	67.6		5.28	0.10	0.41	0.28
Concentrado magnético . III	67.8		5.24	0.085	0.24	0.29
Concentrado de flutuação . I	69.4		3.31	0.38	0.17	0.19
Concentrado de flutuação . II	70.3		2.13	0.077	0.10	0.19
Concentrado de flutuação . III	68.8		3.63	0.19	0.48	0.28
Resíduo de plantas em pelotas	62.6	2.16	6.58	0.63	3.20	1.15
Finos peneirados em pelotas	63.1		4.72	0.25	3.52	1.15

FIG 34

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	S	LOI
Al(OH) ₃ I	—	29.94	—	—	—	—	—
Al(OH) ₃ II	—	55.90	—	—	—	—	—
Bauxita	2.53	57.35	0.09	0.04	7.2	—	—
Bentonita	63.46	25.70	4.53	1.40	2.26	—	—
Ca(OH) ₂	—	—	75.7	—	—	—	—
hidrato de cal	0.71	0.65	76.67	1.12	—	—	30.84
pedra calcária	0.70	0.27	47.90	0.95	0.10	—	43.99
dolomita queimada	0.60	0.24	49.57	35.76	0.20	—	—
cimento Portland	19.61	4.63	66.65	3.32	1.77	0.90	—

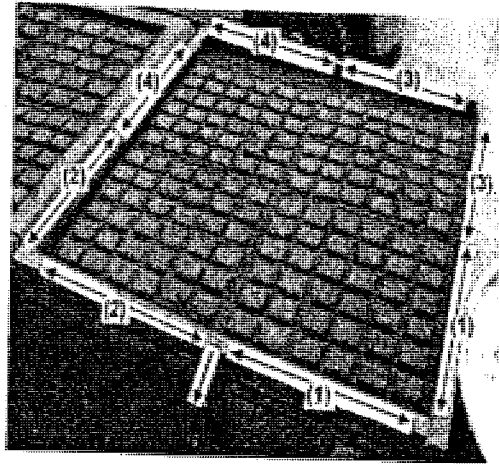


FIG 35A

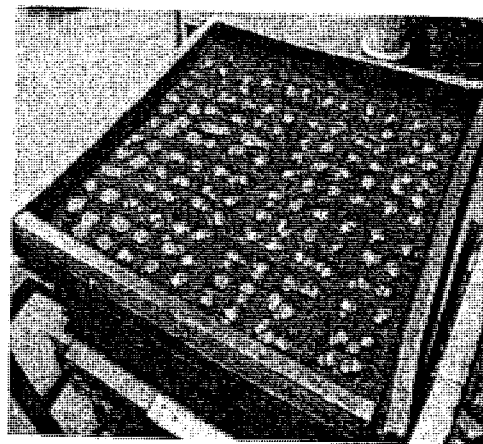


FIG 35B

FIG 36

	Tempo Min.	%O ₂	%CO ₂	%CO
Período de aquecimento sem estrados				
Zona 1 (1750°F (954°C)) ⁽¹⁾		0.4 ⁽³⁾ 1.1 ⁽⁴⁾	10.8 ---	0.5 0.8
Zona 2 (2100°F (1149°C))		2.5 2.5	10.0 ---	0.0 0.0
Zona 3 (2600°F (1427°C))		0.4 0.9	10.7 ---	0.5 0.7
camada de coque de soleira de -10 mesh 4 estrados com moinha de coque os 3º e 4º estrados no centro em cada zona				
Zona 1 (1750°F (954°C)) ⁽¹⁾		0.4 0.4	10.1 ---	1.1 2.2
Zona 2 (2100°F (1149°C))		0.4 0.5	10.3 ---	2.1 3.8
Zona 3 (2600°F (1427°C))	0 ⁽²⁾	0.0	---	3.8
	5	0.4	10.6	3.1
	7	1.6	---	3.7
	11	0.4	10.1	3.5
	18	1.8	---	4.1
	20	0.5	9.8	4.0

(1) Temperature set at = queimadores operados com quantidades sub-estequiométricas de ar
Temperatura ajustada em (1000° F (538°C))

(2) Contador de tempo iniciado após a temperatura ter atingido 2600 °F

(3) AGA 5000 analisador de gás (sensor infra-vermelho) usado na fonte iluminada

(4) Testo 350 analisador de gás (sensor eletroquímico) usado na fonte escura

FIG 37

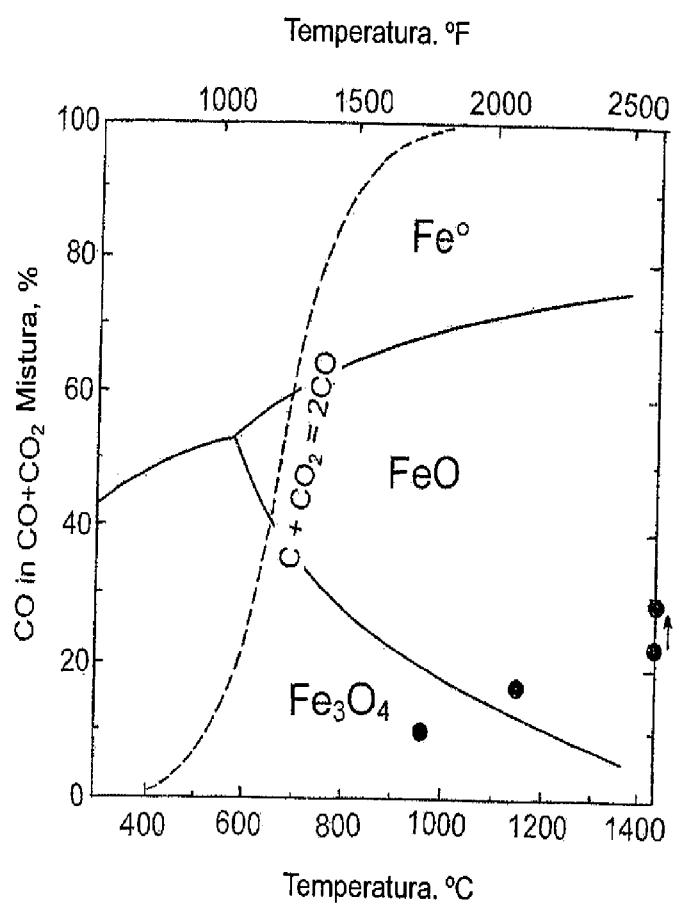


FIG 38

	LHF 14	LHF 15	LHF 17
(a) Análise da pepita, %			
C	2.92	2.70	3.15
S	0.203	0.266	0.152
(b) Basicidade da escória			
CaO/SiO ₂	1.48	1.53	1.71
$\frac{\text{CaO}+\text{MgO}}{\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3}$	1.35	1.38	1.53
(S)/[S]	0.64	0.64	1.40
(c) Análise da escória			
Fe _T	6.3	6.7	6.0
FeO	6.70	7.18	6.31
SiO ₂	35.01	34.03	32.24
Al ₂ O ₃	5.11	5.24	5.18
CaO	51.90	52.18	55.27
MgO	2.36	2.01	1.89
S	0.129	0.169	0.213

FIG 39

Composição da escória (% estequiométrica do carvão)	Pepitas		Escória		
	%C	%S	%Fe	%FeO	%S
LHF 14 (2600°F)					
$L_{1.5}FS_1$ (115%)	2.92	0.203	6.3	6.70	0.129
LHF 15 (2600°F)					
$L_{1.5}FS_1$ (115%)	2.70	0.266	6.7	7.18	0.169
LHF 17 (2600°F)					
$L_{1.5}FS_2$ (115%)	3.15	0.152	6.0	6.31	0.213
LHF 21 (2625°F)					
$L_{1.5}FS_{1.5}$ (115%)	2.98	0.213	6.5	6.66	0.17
$L_{1.5}FS_{1.5}$ (120%)	3.06	0.215	6.3	6.41	0.17
$L_{1.5}FS_2$ (115%)	3.63	0.114	3.2	2.75	0.28
$L_{1.5}FS_2$ (120%)	3.24	0.195	4.1	3.83	0.31
LHF 22 (2625°F)					
$L_{1.5}FS_1SC_1$ (120%)	3.05	0.169	4.2	4.06	0.21
$L_{1.5}FS_2SC_1$ (125%)	3.22	0.162	2.8	2.27	0.31
$L_{1.5}FS_2SC_2$ (125%)	3.49	0.117	3.0	2.51	0.33

FIG 40

Teste nº	Temperatura °F na Zona 3	Tempo na Zona 3	% de CO na Zona 3
16	2600	40	2.9 → 3.8
17	2600	20	3.1 → 4.0
18*	2600	30	1.6 → 3.9
19	2600	20	1.6 → 2.9
20	2625	25	1.3 → 2.7
21	2625	25	1.4 → 3.0
22	2625	25	0.9 → 3.0

* altas concentrações de O₂ e os produtos foram insatisfatórios

** Na zona 2, os estrados foram mantidos a 2100°F
por 5 minutos, exceto para o teste 22, no qual o tempo em 2100°F foi de 3 minutos

FIG 41

Composição da escória	Teste nº	Temperatura da zona 3	% estequiométrica do carvão	% de micro pepitas
$L_{1.5}FS_1$	15	2600	105	10.6
	14	2600	110	10.6
	14	2600	115	17.1
	15	2600	115	12.6
	14	2600	120	15.0
	14	2600	125	16.2
	21	2625	115	12.7
$L_{1.5}FS_{1.5}$	21	2625	120	8.6
$L_{1.5}FS_2$	17	2600	105	12.0
	17	2600	110	12.3
	17	2600	115	11.9
	21	2625	115	10.3
	21	2625	120	8.7
$L_{1.5}FS_3$	17	2600	115	12.4

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO PARA USO NA PRODUÇÃO DE PEPITAS METÁLICAS DE FERRO"**.

A presente invenção refere-se a método para produzir pepitas
5 metálicas (63,71) incluindo o fornecimento de uma mistura redutível (46) (por
exemplo, microaglomerados redutíveis; material de redução e material con-
tendo ferro; mistura redutível incluindo aditivos tais como agentes de fluxo;
compactos; etc.) em pelo menos uma porção da camada de material de so-
leira (46). Em uma modalidade, uma pluralidade de aberturas de canais
10 (50,74,84,94,104,124) se estende pelo menos parcialmente através de uma
camada da mistura de redução para definir uma pluralidade de regiões de
material redutível (59) formador de pepitas. Tais aberturas de canais
(50,74,84,94,104,124) podem ser pelo menos parcialmente preenchidas com
material de preenchimento de separação de pepitas (por exemplo, material
15 carbonáceo). O tratamento térmico da camada de mistura redutível (46) re-
sulta na formação de uma ou mais pepitas metálicas de ferros (63,71). Em
outras configurações, várias composições da mistura redutível e a formação
da mistura forneceram uma ou mais características benéficas.