



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

(11) PI 0701899-1 B1



* B R P I 0 7 0 1 8 9 9 B 1 *

(22) Data de Depósito: 27/04/2007

(45) Data da Concessão: 18/08/2015
(RPI 2328)

(54) Título: AGLOMERADOS AUTO-REDUTORES PARA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS, PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE AGLOMERADOS AUTO-REDUTORES E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS

(51) Int.Cl.: C22B34/32; C22B9/20; C22B4/06

(73) Titular(es): Universidade de São Paulo - USP

(72) Inventor(es): Adolfo Pillihuaman Zambrano, Alberto Eloy Anduze Nogueira, Cyro Takano, Flávio Beneduce Neto, Marcelo Breda Mourão, Solon Yasuhiko Tagusagawa

AGLOMERADOS AUTO-REDUTORES PARA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS, PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE AGLOMERADOS AUTO-REDUTORES E PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS

5 Campo de aplicação

A presente invenção refere-se ao processo de produção de ferro-ligas caracterizado pelo uso de aglomerados auto-redutores, que propiciam uma redução de consumo de energia elétrica, uma maior produtividade e um maior rendimento de recuperação metálica quando comparado aos processos convencionais. Este processo é constituído de duas etapas: a pré-redução dos aglomerados auto-redutores e sua posterior redução/separação final em forno de alta temperatura.

15 Antecedentes da Invenção

O ferro-cromo (FeCr) é uma liga de ferro e cromo com presença de carbono e silício, contendo diversas impurezas resultantes dos processos de produção e das matérias primas utilizadas.

O ferro-cromo de alto carbono (FeCr AC) tem a seguinte composição, de acordo com a Norma Americana, ASTM A101-93 (reaprovada em 2000):

(em % massa)

Grau	Cr	C	Si	S (max.)	P (max.)
A	51,0 a 56,0	6,0 a 8,0	max. 6,0	0,040	0,030
B	56,0 a 62,0	6,0 a 8,0	8,0 a 14,0	0,050	0,030
C	min. 62,0	6,0 a 8,0	max. 3,0	0,050	0,030

A liga FeCr AC é produzida usualmente pela redução direta do minério de cromo (por exemplo, cromita), com redutor a base de carbono, normalmente coque, em forno elétrico de redução a arco trifásico. O consumo de energia é da ordem de 3.500 a 4.000 kWh por tonelada de ferro-cromo alto carbono e o rendimento de recuperação é em torno de 90% em cromo.

O FeCr assim produzido apresenta temperatura "liquidus" em torno de 1500oC e caracteriza-se pelo seu alto teor de carbono, de 6,0 a 8,0%. O processo de redução é conduzido numa faixa de temperatura entre 1650 a 1750oC, para

assegurar uma separação satisfatória dos produtos de reação, devido à diferença de sua densidade.

Várias patentes (JP 02-077534, JP 59-089751, JP 58-0775481) descrevem o processo de produção de FeCr, caracterizando o uso de adições (por exemplo, 5 quartzo e cal) durante a redução para melhorar a fluidez da escoria e com isto a recuperação do cromo.

A pré-redução de concentrado de cromita em fornos rotativos é descrita em várias patentes (US 44.629.506/86, US 4.412.862/83, US 4.772.316/88, US 4.981.510/91, JP 59-089751, JP 59-085841, JP 59-085840) tendo como objetivo a 10 redução de energia elétrica e um melhor controle operacional do forno elétrico de redução. Neste caso, o grau de redução nesta etapa de pré-redução pode atingir da ordem de 60% para o cromo e de 90% para o ferro.

Esta pré-redução pode ser feita também em forno de leito fluidizado, como o processo utilizado pela ex-Kawasaki Steel (JP 57-032351), atualmente JFE Steel, 15 Japão. Neste caso, o gás que sai do forno elétrico de redução, é enriquecido de CO e é injetado no forno de leito fluidizado. Um grau de redução da ordem de 70% pode ser atingido, nesta etapa do processo. A patente US 4.412.862 menciona o forno de leito fluidizado como uma alternativa para a produção de FeCr.

O uso de aglomerados auto-redutores (por exemplo, pelota, bolinha, 20 briquete, pastilha, compactado) é citado em várias patentes (US 4.306.905/81, US 4.412.862/83, US 4.731.112/88, JP 53-072718, JP 53-001120, JP 54-080224, JP 01-219130, P6138/74, este da África do Sul). Neste caso, o coque de petróleo ou outra fonte de carbono é adicionado nestes aglomerados, que posteriormente são aquecidos de forma controlada, para parcialmente reduzir o minério de cromo.

Os aglomerados pré-reduzidos são fundidos em forno de redução e o FeCr 25 é obtido. Um exemplo típico é o processo CMI – Consolidated Metallurgical Industries da África do Sul, que utiliza finos de minério de cromo misturado com coque. Estas matérias primas são pelletizadas e parcialmente metalizadas num forno rotativo para, logo em seguida, serem introduzidas num forno elétrico de 30 redução.

Várias patentes (JP 01-219130, JP 59-085841, JP 58-077548) mencionam a adição de fluxantes para melhorar a viscosidade da escória final – etapa final de redução, e desta forma melhorar a recuperação da ferro-liga.

¹ Patente Japonesa – JP.

Descrição resumida da invenção

A presente invenção é caracterizada pelo uso de aglomerados especiais pré-reduzidos, que na sua composição pode conter fluxantes/aglomerantes para controlar a temperatura "liquidus" da escória inicial, e de dois tipos simultâneos de redutores: um a base de carbono, por exemplo, coque de petróleo, carvão vegetal, negro de fumo, carvão mineral, grafita, piche de petróleo, antracito, turfa e o outro metálico, por exemplo, silício metálico, ferro-silício, ferro-silício-manganês, a liga silício-manganês, liga silício-cálcio, carbeto de cálcio, alumínio e suas ligas, magnésio e suas ligas, cálcio e suas ligas. A adição deste segundo redutor simultaneamente ao redutor a base de carbono no aglomerado aumenta a velocidade de redução na primeira etapa do processo de forma significativa, devido a exotermicidade da reação de redução dos óxidos presentes no concentrado pelo redutor metálico.

Na segunda etapa do processo, o pré-reduzido é introduzido num forno elétrico de fusão e eventualmente de redução residual, onde as partículas de ferro-liga obtidas na pré-redução são coalescidas e, caso haja, o residual do elemento metálico valioso pode ser reduzido e incorporado à ferro-liga final. Os demais óxidos residuais formam escória ou incorporam na escória inicial.

20

Vantagens da invenção

A presente invenção refere-se ao processo de produção de ferro-ligas em que na primeira etapa um aglomerado auto-redutor especial é produzido, que posteriormente é tratado termicamente em condições controladas para que o concentrado seja pré-reduzido. A seguir, na segunda etapa, este aglomerado é fundido em condições controladas em forno de alta temperatura, tendo como produto final a ferro-liga almejada. Este processo é vantajoso na produção de ferro-ligas que demandam um consumo elevado de energia elétrica, visto que uma parte da redução é feita, por exemplo, em forno rotativo, em forno de cuba, onde a fonte de energia é à base de carbono ou gases redutores. A novidade do processo consiste em obter a redução química de minério e/ou concentrado com rendimento metálico podendo ser superior a 95% na etapa de pré-redução e portanto com baixa perda do elemento metálico valioso na escória após a fusão, e também consegue-se diminuir o tempo desta redução química em até 50% comparado ao

35

estágio atual da tecnologia. Conseqüentemente, o custo de produção pode diminuir entre 10 e 30%. Exemplos são citados para a produção de ferro-cromo de alto carbono.

5 Descrição detalhada da invenção

Composição dos aglomerados auto-redutores

10 Fol desenvolvida composição para aglomerados auto-redutores especiais contendo minério e/ou concentrado de elemento(s) de ferro-liga compreendendo em peso em relação à sua massa total:

- (a) minério e/ou concentrado contendo elemento(s) de ferro-liga ;
- (b) dois tipos (i) e (ii) de agentes redutores empregados simultaneamente:
 - 15 (i) um ou mais redutores a base de carbono;
 - (ii) um ou mais redutores metálicos a base de: silício, ou alumínio, ou cálcio, ou magnésio, ou de suas misturas;
- (c) um ou mais agentes aglomerantes;
- (d) um ou mais agentes fluxantes
- 20 (e) outros componentes conhecidos do homem da técnica.

O minério fino e/ou concentrado contendo elementos de ferro-liga pode ser aglomerado na forma de pelotas, bolinhas, pastilhas, compactados ou briquetes auto-redutores, isto é, aglomerado contendo os dois tipos de redutores e fluxantes.

25 Os redutores a base de carbono (i) podem ser escolhidos entre grupo consistindo de: coque de petróleo, carvão vegetal, negro de fumo, carvão mineral, grafita, piche de petróleo, antracito, turfa, individualmente, ou suas misturas e derivados. Os agentes redutores metálicos (ii) podem ser escolhidos entre o grupo compreendendo: silício metálico, ferro-silício, ferro-silício-manganês, liga sílico-

30 manganês, liga cálcio-silício, carbetto de cálcio, alumínio e suas ligas, magnésio e suas ligas, cálcio e suas ligas ou suas misturas e derivados. Como agente aglomerante pode-se empregar uma mistura de CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, preferencialmente emprega-se cimento Portland. Para aumentar a resistência a verde do aglomerado, pode-se adicionar um aglomerante orgânico, por exemplo,

35 compostos de celulose (por exemplo, metil celulose), compostos derivados de milho

(por exemplo, mogul) ou de cana de açúcar (por exemplo, melação) O agente fluxante pode compreender CaO, MgO, SiO₂, ou suas misturas. Pode-se empregar cal hidratada, ou sílica, ou quartzo, ou ainda suas misturas. Como forma de adição de cálcio pode-se utilizar: cimento Portland, cal hidratada, cal virgem ou dolomita, ou ainda suas misturas.

Particularmente a composição compreende em peso em relação à massa total da composição:

- (a) cerca de 50 a 85% de minério e/ou concentrado contendo elementos formadores de ferro-liga;
- (b) cerca de 10 a 30% de dois tipos de agentes redutores empregados simultaneamente, consistindo de:
 - (i) um ou mais redutores a base de carbono;
 - (ii) um ou mais redutores metálicos;
- (c) cerca de 0 a 10% de um ou mais agentes aglomerantes;
- (d) cerca de 0 a 15% um ou mais agentes fluxantes compreendendo basicamente CaO, SiO₂ e MgO;
- (e) outros componentes conhecidos do homem da técnica.

No caso específico para a produção de FeCr AC, a composição de aglomerado auto-redutor de minério e/ou concentrado de cromita pode conter até 7% em massa de silício no aglomerado auto-redutor, preferencialmente até 5% em massa de silício, que pode ser na forma de Fe-Si, Fe-Si-Mn, Ca-Si, no aglomerado auto-redutor. A relação em massa entre CaO/SiO₂ pode variar entre 1 e 3 aproximadamente, mais preferencialmente entre 1,5 a 2,5 aproximadamente. Pode eventualmente substituir a sílica por quartzo. A composição apresenta em uma forma preferencial de realização os seguintes componentes: cimento Portland, fluorita, mistura de sílica e cal, mistura de fluoretos ou cloretos como fluxante/aglomerante e componentes orgânicos como aglomerantes. Portanto, a composição do aglomerado auto-redutor compreende em peso relação à sua massa total:

- (a) cerca de 60 a 80% em peso de cromita;
- (b) ao menos dois tipos de agentes redutores, consistindo de:
 - (i) cerca de 10 a 20% de coque de petróleo;

- (ii) cerca de 0,1 a 7% de ferro-silício;
 - (c) cerca de 0 a 10% de cimento Portland;
 - (d) cerca de 0 a 10% de cal hidratada;
 - (e) cerca de 0 a 10% de sílica ou quartzo.
- 5 (f) cerca de 0 a 3% de metil celulose.

Pelotas auto-redutoras foram produzidas, contendo minério de cromo (99% passante na malha 150 mesh; 41,2% Cr₂O₃), coque de petróleo (99% passante na malha 150 mesh; 88,8% carbono fixo e 10,8% material volátil), ferro-silício (80% passante na malha 150 mesh; 75,0% Si), cimento Portland (100% abaixo de 150 mesh; 64,3% CaO, 19,0% SiO₂, 4,9% Al₂O₃, 2,8% Fe₂O₃), cal hidratada (57,5% CaO, 31,6% MgO, 4,0% SiO₂) e sílica (100% de pureza).

Como mencionado anteriormente, tanto o coque de petróleo (fonte de carbono) como o ferro-silício (fonte de redutor metálico-silício) funcionam como redutor do óxido de cromo e do óxido de ferro, presente na cromita. Cimento Portland é o aglomerante adicionado para dar resistência mecânica à pelota. É também fonte de adição de CaO e SiO₂. Cal hidratada (fonte de CaO) e sílica (fonte de SiO₂) são fluxantes para controlar a temperatura "liquidus" da escória inicial formada.

20

Obtenção dos aglomerados auto-redutores

A invenção também contempla o processo de obtenção dos aglomerados auto-redutores com a composição anteriormente descrita. Para isto deve-se homogeneizar a mistura de seus componentes, proceder-se em seguida a uma etapa de aglomeração com classificação por tamanho de partículas, sendo que o aglomerado produzido pode passar opcionalmente por etapa de secagem. A mistura das matérias primas deve ser feita de forma criteriosa, para garantir boa homogeneização a fim de se obter reprodutibilidade química, metalúrgica e mecânica dos aglomerados.

30

A mistura é aglomerada (por exemplo, em disco ou tambor pelletizador ou briquetedor ou prensa ou em molde), e os aglomerados resultantes são classificadas em uma determinada faixa de tamanho, entre cerca de 5 a cerca de 50mm. Posteriormente, são secas para evitar crepitação durante o processo de pré-redução.

35

Produção de ferro-ligas

O processo de obtenção de ferro-ligas de acordo com a invenção ocorre em
5 duas etapas:

(i) etapa de pré-redução: aquecimento de aglomerados auto-redutores de
minério ou concentrado contendo elementos formadores de ferro-ligas
apresentando dois tipos de agentes redutores empregados simultaneamente,
10 sendo um agente redutor a base de carbono e outro agente redutor metálico,
em atmosfera redutora, e temperatura podendo variar entre cerca de 900 °C a
cerca de 1.700 °C, obtendo-se ao final basicamente uma fase metálica com
residuais, e uma escória inicial ou ainda óxidos sólidos não reduzidos, sendo
que o grau de redução do elemento formador de ferro-liga é maior que 90%,
15 nesta etapa;

(ii) etapa de redução/separação: o produto obtido na etapa anterior ou (i) passa
para uma segunda etapa de fusão em forno de alta temperatura, onde
eventualmente ocorre redução residual, por aquecimento a temperatura entre
1300oC a cerca de 1800°C, havendo formação da ferro-liga por coalescimento
20 de suas partículas, redução final e formação da escória final.

O processo térmico de pré-redução é realizado numa faixa de temperatura
da ordem de 900oC a 1700oC, preferencialmente entre cerca de 1300oC a 1650oC
em atmosfera redutora, para garantir a pré-redução de óxidos ou minerais
25 complexos, por exemplo a cromita, empregando-se forno rotativo, forno elétrico tipo
mufla, ou forno de cuba. A velocidade de redução varia exponencialmente com a
temperatura. E, adições de ferro-silício aumentam esta velocidade numa mesma
isoterma, portanto diminuindo o tempo de reação. Isto reduz os gastos com energia
e conseqüentemente reduz os custos de produção da ferro-liga. A adição
30 suplementar de fluxantes pode ocorrer preferencialmente na etapa final de fusão e
redução, para abaixar a viscosidade da escória, melhorando assim a separação da
escória do produto final. Emprega-se agente redutor a base de carbono em excesso
para aumentar a recuperação na primeira etapa de produção. O teor de carbono
neste caso pode ser de até 100% em massa, preferencialmente de até 50% em
35 massa.

Controlando a composição do aglomerado e o ciclo térmico, é possível obter altas taxas de pré-redução, podendo atingir nível acima de 95%, próximo a 100%, aumentando o rendimento de recuperação de ferro-liga e diminuindo a perda de elemento valioso na escória. Na tecnologia atual de uso de aglomerados auto-redutores contendo apenas redutor a base de carbono a taxa de pré-redução, nesta etapa, é de aproximadamente 60% no caso de produção de Ferro-Cromo. Os produtos resultantes da pré-redução apresentam fase metálica contendo ferro e outros elementos formadores da ferro-liga como aqueles escolhidos dentre o grupo consistindo de: cromo, manganês, níquel, zircônio, molibdênio, nióbio, tântalo, vanádio e tungstênio (Cr, Mn, Ni, Zr, Mo, Nb, Ta, V, W). Eles podem apresentar residuais de carbono, fósforo, enxofre e silício (C, P, S e Si), e de uma escória inicial, ou de óxidos sólidos não reduzidos contendo principalmente óxidos de magnésio, de silício, de cálcio, de alumínio e de outros óxidos.

Os aglomerados pré-reduzidos são posteriormente, na segunda etapa do processo, carregados num forno de alta temperatura, por exemplo, num forno elétrico ou num forno de plasma, para coalescimento da fase metálica, uma possível redução final e a formação de escória final obtendo-se a ferro-liga, separada da escória.

A invenção é explicada com mais detalhes nos exemplos descritos a seguir:

20

Exemplo 1

Pelotas auto-redutoras com a seguinte composição foram produzidas (porcentagem em massa, especificação das matérias primas descrita anteriormente):

25

(% massa)

Cromita	Coque	Fe-Si	Cimento	Silica	Cal
72,8	12,4	0	5,4	5,6	3,7

As pelotas foram classificadas na faixa de 15mm (diâmetro médio), e posteriormente secas de forma apropriada para evitar sua crepitação durante a pré-redução.

30

As pelotas foram adicionadas num forno elétrico, cuja temperatura interna da câmara estava controlada em:

- 1500oC

- 1550oC
- 1600oC.

Mediu-se o tempo de reação de pré-redução pela evolução de gases (CO/CO₂), considerando-se o término da reação quando cessou o fluxo destes gases.

O tempo de reação obtido para as 3 isotermas anteriormente descritas foi, respectivamente, da ordem de:

- 22 minutos
- 9 minutos
- 5 minutos.

As pelotas pré-reduzidas foram caracterizadas, e sua microscopia eletrônica de varredura revelou a formação de fases metálicas, contendo ferro e cromo, na forma de partículas espalhadas numa matriz de escória inicial. Esta escória é constituída basicamente de óxidos de Ca, Si, Al e Mg, contendo teor residual de óxido de cromo (recuperação em Cr de 96,2%).

A análise química geral da fase metálica da pelota pré-reduzida foi:

(% massa)

Temperatura	C	Si	P	S	Cr	Fe
1500oC	4,19	0,66	1,08	0,57	62,06	31,44
1550oC	4,39	0,61	1,07	0,57	58,36	35,00
1600oC	3,97	0,59	1,21	0,52	63,78	29,93

Exemplo 2

20

Pelotas auto-redutoras com a seguinte composição foram produzidas (porcentagem em massa, especificação das matérias primas descrita anteriormente):

(% massa)

Cromita	Coque	Fe-Si	Cimento	Sílica	Cal
72,8	11,5	0,9	5,4	5,6	3,7

25

As pelotas foram classificadas na faixa de 15mm (diâmetro médio), e posteriormente secas de forma apropriada para evitar sua crepitação durante a pré-redução.

As pelotas foram adicionadas num forno elétrico, cuja temperatura interna da câmara estava controlada em:

- 1500oC
- 1550oC
- 5 • 1600oC.

Mediu-se o tempo de reação de pré-redução pela evolução de gases (CO/CO₂), considerando-se o término da reação quando cessou o fluxo destes gases.

10 O tempo de reação obtido para as 3 isotermas anteriormente descritas foi, respectivamente, da ordem de:

- 15 minutos
- 7,5 minutos
- 2,5 minutos.

15

As pelotas pré-reduzidas foram caracterizadas, e sua microscopia eletrônica de varredura revelou a formação de fases metálicas, contendo ferro e cromo, na forma de partículas espalhadas numa matriz de escória inicial, semelhante ao do Exemplo 1. A escória inicial formada é constituída basicamente de óxidos de Ca, Si, 20 Al e Mg, contendo teor residual de óxido de cromo (recuperação em Cr de 96,5%).

A análise química geral da fase metálica da pelota pré-reduzida foi:

(% massa)

Temperatura	C	Si	P	S	Cr	Fe
1500oC	4,39	1,19	0,96	0,37	57,54	35,56
1550oC	4,61	0,54	0,90	0,38	65,38	28,19
1600oC	3,67	0,69	1,22	0,54	65,35	28,53

25 **Exemplo 3**

Pelotas auto-redutoras com a seguinte composição foram produzidas (porcentagem em massa, especificação das matérias primas descrita anteriormente):

30

(% massa)

Cromita	Coque	Fe-Si	Cimento	Sílica	Cal
74,7	11,2	1,9	5,6	2,9	3,8

As pelotas foram classificadas na faixa de 15mm (diâmetro médio), e posteriormente secas de forma apropriada para evitar sua crepitação durante a pré-redução.

5 As pelotas foram adicionadas num forno elétrico, cuja temperatura interna da câmara estava controlada em:

- 1500oC
- 1550oC
- 1600oC.

10

Mediu-se o tempo de reação de pré-redução pela evolução de gases (CO/CO₂), considerando-se o término da reação quando cessou o fluxo destes gases.

15 O tempo de reação obtido para as 3 isotermas anteriormente descritas foi, respectivamente, da ordem de:

- 12 minutos
- 5 minutos
- 2,5 minutos.

20 As pelotas pré-reduzidas foram caracterizadas, e sua microscopia eletrônica de varredura revelou a formação de fases metálicas, contendo ferro e cromo, na forma de partículas espalhadas numa matriz de escória inicial, semelhante ao do Exemplo 1. A escória inicial formada é constituída basicamente de óxidos de Ca, Si, Al e Mg, contendo teor residual de óxido de cromo (recuperação em Cr de 96,1%).

25 A análise química geral da fase metálica da pelota pré-reduzida foi:

(% massa)

Temperatura	C	Si	P	S	Cr	Fe
1500oC	3,65	0,57	1,01	0,50	64,15	30,13
1550oC	3,57	0,64	1,20	0,57	59,91	34,10
1600oC	3,46	0,91	1,79	0,80	61,44	31,61

Os tempos de redução destes três exemplos acima mencionados indicam que a adição de Fe-Si melhora a cinética de redução, diminuindo o tempo de pré-

redução de 5 minutos (isoterma de 1600oC) para 2,5 minutos. Para temperaturas mais baixas, o efeito é também significativo:

- Isoterma de 1550oC (de 9 minutos para 5 e 7,5 minutos²)
- Isoterma de 1500oC (de 22 minutos para 12 e 15 minutos)

5 Tempos menores de pré-redução significam consumo de energia menor, o que reduz de forma significativa os custos de produção da ferroliga. Portanto, a adição de um segundo redutor metálico na manufatura da pelota auto-redutora propicia uma redução no consumo de energia, mantendo um nível elevado de recuperação.

10 Recuperações significativamente maiores de cromo na forma metálica contribuem também para aumento da produtividade e diminuição de custos de produção da ferro-liga.

Exemplo 4

15

Pelotas auto-redutoras com a seguinte composição foram produzidas (porcentagem em massa, especificação das matérias primas descrita anteriormente):

(% massa)

Cromita	Coque	Fe-Si	Cimento	Sílica	Cal
69,9	14,8	0,9	5,5	3,6	5,3

20

As pelotas foram classificadas na faixa de 15mm (diâmetro médio), e posteriormente secas de forma apropriada para evitar sua crepitação durante a pré-redução.

25 As pelotas foram adicionadas num forno elétrico, cuja temperatura interna da câmara estava controlada em:

- 1500oC
- 1550oC
- 1600oC.

30 As pelotas pré-reduzidas foram caracterizadas, e sua microscopia eletrônica de varredura revelou a formação de fases metálicas, contendo ferro e cromo, na forma de partículas espalhadas numa matriz de escória inicial, semelhante ao do

² Adição de Fe-Si de 1,9% e 0,9%, respectivamente.

Exemplo 1. A escória inicial formada é constituída basicamente de óxidos de Ca, Si, Al e Mg, contendo teor residual de óxido de cromo (recuperação em Cr de 98,6%). Esta maior recuperação em cromo foi devido ao excesso de carbono adicionado, em relação ao estequiométrico.

- 5 A análise química geral da fase metálica da pelota pré-reduzida foi:

(% massa)

Temperatura	C	Si	P	S	Cr	Fe
1600oC	7,67	2,19	1,30	0,55	61,37	26,93

Exemplo 5

- 10 Pelotas auto-redutoras com a seguinte composição foram produzidas (porcentagem em massa, especificação das matérias primas descrita anteriormente):

(% massa)

Cromita	Coque	Fe-Si	Cimento	Sílica	Cal
76	17	2	5	0	0

- 15 As pelotas foram classificadas na faixa de 15mm (diâmetro médio), e posteriormente secas de forma apropriada para evitar sua crepitação durante a pré-redução.

As pelotas foram adicionadas num forno elétrico, cuja temperatura interna da câmara estava controlada em:

- 20 • 1500oC

As pelotas pré-reduzidas foram caracterizadas, e sua microscopia eletrônica de varredura revelou a formação de fases metálicas, contendo ferro e cromo, contidas no interior das partículas originais de cromita, sem formação de escória

- 25 líquida inicial.

A análise química geral da fase metálica da pelota pré-reduzida foi:

(% massa)

C	Si	P	S	Cr	Fe
4,31	1,13	0,61	0,18	60,08	33,69

REIVINDICAÇÕES

1. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** caracterizados pelo fato de compreenderem:

5 (a) entre 50 a 85% de minério e/ou concentrado contendo elemento(s) formadores de ferro-liga;

(b) entre 10 a 30% de dois tipos (i) e (ii) de agentes redutores empregados simultaneamente, consistindo de:

(i) um ou mais redutores à base de carbono;

(ii) um ou mais redutores metálicos;

10 (c) entre 0 a 10% de um ou mais agentes aglomerantes;

(d) entre 0 a 15% de um ou mais agentes fluxantes;

(e) outros componentes conhecidos do homem da técnica.

2. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato dos redutores à base de carbono (i) serem escolhidos entre grupo consistindo de: coque de petróleo, carvão vegetal, negro de fumo, carvão mineral, grafita, piche de petróleo, antracito, turfa, individualmente, ou suas misturas e derivados.

3. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato dos agentes redutores metálicos (ii) serem escolhidos entre o grupo compreendendo: silício metálico, ferro-silício, ferro-silício-manganês, liga sílico-manganês, liga cálcio-silício, alumínio e suas ligas, magnésio e suas ligas, cálcio e suas ligas, carbeto de cálcio, ou suas misturas e derivados.

4. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato do agente aglomerante ser uma mistura de CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃.

5. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 e 4 caracterizados pelo fato do agente aglomerante ser cimento Portland.

30 6. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato do agente aglomerante ser um composto orgânico.

7. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 6 caracterizados pelo fato de empregar compostos de celulose

(por exemplo, metil celulose), compostos derivados de milho (por exemplo, mogul), ou de cana-de-açúcar .

5 8. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato do agente fluxante compreender CaO, MgO, SiO₂, ou suas misturas.

9. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com as reivindicações 1 e 8 caracterizados pelo fato do agente fluxante ser cal hidratada, ou cal virgem, ou dolomita, ou suas misturas.

10 10. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato de compreender: cimento Portland, fluorita, mistura de sílica e cal, mistura de fluoretos ou cloretos como fluxante e/ou aglomerante.

11. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 8 caracterizados pelo fato do fluxante ser sílica, ou quartzo.

15 12. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato de adicionar-se até 7% em massa de silício no aglomerado auto-redutor.

20 13. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 12 caracterizados pelo fato de adicionar-se até 5% em massa de silício, na forma de Fe-Si, Fe-Si-Mn, Ca-Si, no aglomerado auto-redutor.

14. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato da relação em massa entre CaO/SiO₂ variar entre 1 e 3.

25 15. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 14 caracterizados pelo fato da relação em massa entre CaO/SiO₂ variar entre 1,5 a 2,5.

16. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato do minério e/ou concentrado ser de manganês, níquel, zircônio, molibdênio, tântalo, nióbio, vanádio, tungstênio, cromo.

30 17. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato do minério e/ou concentrado de cromo ser de cromita.

18. **Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas** de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato de compreender preferencialmente:

35 (a) 60 a 80% em peso de cromita;

(b) dois tipos de agentes redutores empregados simultaneamente, consistindo de:

- (i) cerca de 10 a 20% de coque de petróleo;
- (ii) cerca de 0,1 a 7% de ferro-silício;
- 5 (c) 0 a 10% de cimento Portland;
- (d) 0 a 10% de cal hidratada;
- (e) 0 a 10% de sílica.

19. Aglomerados auto-redutores para produção de ferro-ligas de acordo com a reivindicação 1 caracterizados pelo fato se apresentarem na forma de pelotas, bolinhas, pastilhas, compactados, ou briquetes auto-redutores.

20. Processo para produção de aglomerados auto-redutores conforme definidos nas reivindicações de 1 a 19 caracterizado pelo fato de serem obtidos de acordo as etapas:

- a. homogeneizar-se a mistura dos componentes;
- 15 b. proceder-se em seguida a uma etapa de aglomeração com classificação por tamanho de partículas;
- c. os aglomerados passarem, opcionalmente, por etapa de secagem.

21. Processo para produção de aglomerados auto-redutores de acordo com a reivindicação 21 caracterizado pelo fato da etapa de aglomeração ocorrer em disco ou tambor pelotizador ou em briquetedor ou em prensa ou em molde.

22. Processo para produção de aglomerados auto-redutores de acordo com a reivindicação 21 caracterizado pelo fato do diâmetro médio das partículas do aglomerado situar-se entre 5 e 50 mm.

23. Processo para produção de ferro-ligas a partir de aglomerados auto-redutores, conforme definidos nas reivindicações 1 a 22, caracterizado pelo fato de ocorrer em duas etapas:

- (i) pré-redução com o aquecimento de aglomerados auto-redutores, em atmosfera redutora que varia entre cerca de 900 °C a cerca de 1.700 °C, obtendo-se ao final uma fase metálica com residuais, e uma escória inicial ou ainda óxidos sólidos não reduzidos, sendo o grau de redução do elemento formador de ferro-liga maior que 90%, nesta etapa;
- 30 (ii) redução/separação do produto obtido na etapa anterior ou (i) por meio de uma segunda etapa de fusão em forno de alta temperatura, onde ocorre redução residual, por aquecimento à temperatura entre 1300°C e 1800°C, havendo

formação da ferro-liga por coalescimento de suas partículas, redução final e formação da escória final.

5 **24. Processo para produção de ferro-ligas** de acordo reivindicação 23 caracterizado pelo fato de ser empregado na etapa de pré-redução: forno rotativo, forno elétrico tipo mufla ou forno de cuba.

25. Processo para produção de ferro-ligas de acordo reivindicação 23 caracterizado pelo fato de haver adição suplementar de fluxantes na etapa final de fusão e redução, visando abaixar a viscosidade da escória.

10 **26. Processo para produção de ferro-ligas** de acordo reivindicação 23 caracterizado pelo fato de empregar-se agente redutor à base de carbono em excesso para aumentar a recuperação na primeira etapa de produção.

27. Processo para produção de ferro-ligas de acordo reivindicação 26 caracterizado pelo uso de excesso de carbono de até 100% em massa preferencialmente de até 50% em massa.

15 **28. Processo para produção de ferro-ligas** de acordo reivindicação 23 caracterizado pelo fato do produto metálico resultante da pré-redução conter ferro e outros elementos formadores da ferro-liga como aqueles escolhidos dentre o grupo consistindo de: cromo, manganês, níquel, zircônio, molibdênio, nióbio, tântalo, vanádio e tungstênio (Cr, Mn, Ni, Zr, Mo, Nb, Ta, V, W).

20 **29. Processo para produção de ferro-ligas** de acordo reivindicação 23 caracterizado pelo fato dos produtos resultantes da pré-redução apresentar na fase metálica residuais de carbono, fósforo, enxofre e silício (C, P, S e Si), e de uma escória inicial, ou de óxidos sólidos não reduzidos contendo principalmente óxidos de magnésio, de silício, de cálcio, de alumínio e de outros óxidos.

RESUMO**AGLOMERADOS AUTO-REDUTORES PARA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS,
5 PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE AGLOMERADOS AUTO-REDUTORES E
PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS**

A presente invenção refere-se ao processo de produção de ferro-ligas
10 caracterizado pelo uso de aglomerados auto-redutores, que propiciam uma redução
de consumo de energia elétrica, uma maior produtividade e um maior rendimento
de recuperação metálica quando comparado aos processos convencionais. Este
processo é constituído de duas etapas: a pré-redução dos aglomerados auto-
redutores e sua posterior redução/separação final em forno de alta temperatura. A
15 composição para aglomerados auto-redutores contendo minério e/ou concentrado
contendo elementos formadores de ferro-liga compreende:

- (a) minério e/ou concentrado contendo elemento(s) de ferro-liga ;
- (b) dois tipos (i) e (ii) de agentes redutores empregados simultaneamente:
 - (i) um ou mais redutores a base de carbono;
 - 20 (ii) um ou mais redutores metálicos a base de: silício, ou alumínio, ou cálcio,
ou magnésio, ou de suas misturas;
- (c) um ou mais agentes aglomerantes;
- (d) um ou mais agentes fluxantes
- (e) outros componentes conhecidos do homem da técnica.