



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112018010508-2 B1**



**(22) Data do Depósito: 16/12/2016**

**(45) Data de Concessão: 31/08/2021**

**(54) Título:** MÉTODO E SISTEMA PARA DETERMINAR UMA MASSA DE MATÉRIA PRIMA E MÉTODO PARA OPERAR UM FORNO METALÚRGICO

**(51) Int.Cl.:** F27B 3/18; F27B 3/28; F27D 13/00; F27D 21/02; F27D 19/00; (...).

**(30) Prioridade Unionista:** 22/12/2015 IB PCT/IB2015/059871.

**(73) Titular(es):** ARCELORMITTAL.

**(72) Inventor(es):** JEAN-CLAUDE BAUMERT; JEAN-CLAUDE THIBAUT; MARCO PICCO.

**(86) Pedido PCT:** PCT IB2016057719 de 16/12/2016

**(87) Publicação PCT:** WO 2017/109657 de 29/06/2017

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 23/05/2018

**(57) Resumo:** MÉTODO E SISTEMA PARA DETERMINAR UMA MASSA DE MATÉRIA PRIMA E MÉTODO PARA OPERAR UM FORNO METALÚRGICO. Um método e um sistema para determinar uma massa de matéria prima descarregada por um transportador durante um primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  são divulgados. O método compreende: tirar imagens digitais da matéria prima em uma zona específica do referido transportador, em que duas imagens sucessivas são separadas por um segundo intervalo de tempo  $\Delta t = \Delta t$ ; para cada um dos segundos intervalos de tempo  $\Delta t$ : calcular a distância de avanço de um sub-volume de matéria prima durante o referido segundo intervalo de tempo  $\Delta t$  na referida zona específica do referido transportador por processamento numérico das duas imagens sucessivas associadas com o referido segundo intervalo de tempo  $\Delta t$ ; determinar pelo menos um perfil de altura transversal do referido sub-volume da matéria prima; determinar uma densidade de matéria prima eficaz para o referido sub-volume de matéria prima; e calcular a referida massa de matéria prima descarregada pelo referido transportador durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  no forno com base na referida distância de avanço, o referido pelo menos um dos perfis de altura transversal e a referida densidade de matéria prima (...).

## **“MÉTODO E SISTEMA PARA DETERMINAR UMA MASSA DE MATÉRIA PRIMA E MÉTODO PARA OPERAR UM FORNO METALÚRGICO”**

### **CAMPO DA INVENÇÃO**

[001] A invenção de modo geral se refere a um método e um sistema para carregar um forno metalúrgico, por exemplo, um forno de arco elétrico, com sucata (aço) e/ ou outra matéria prima, tal como, por exemplo, ferro reduzido direto (DRI, também chamado ferro esponja) ou, possivelmente, ferro gusa (*pig iron*). Mais especificamente, a invenção refere-se a um sistema e a um método para determinar a quantidade de matéria prima que é fornecida por um transportador para um forno metalúrgico.

### **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] O estado da técnica de fornos metalúrgicos carregados com matéria prima, por exemplo, sucata, de forma contínua ou descontínua, está bem estabelecido.

[003] A patente EP 2606305 descreve um sistema para controlar e rastrear a carga de material transportado por um transportador de fornecimento contínuo de um forno metalúrgico. O sistema compreende uma seção de carregamento para carregar um peso de material previamente determinado, de acordo com uma receita de carga predeterminada, no transportador de fornecimento contínuo. O sistema marca o carregamento através dos meios de identificação. As dimensões totais da carga carregada são detectadas e a velocidade de avanço da carga carregada é calculada. EP 2606305 descreve que os meios para detectar a velocidade de avanço podem compreender meios para adquirir uma pluralidade de imagens de cargas em tempos retardados, sendo as imagens e os tempos de aquisição relativos então mutuamente correlacionados e processados. O sistema do EP 2606305 determina o peso de cada fração de carga apenas uma vez, na respectiva estação de carga e antes que a fração de carga seja descarregada no

transportador. Finalmente, o sistema determina o tempo de chegada da carga no forno.

[004] Não obstante a descrição acima, determinar o fluxo de massa de matéria prima entrando em um forno metalúrgico com precisão satisfatória permanece, na prática, um problema a ser resolvido. De fato, uma das suposições subjacentes aos cálculos do sistema do EP 2606305 é que cada carga carregada no transportador permanece junto e progride como uma unidade. Na realidade, este não é o caso, especialmente se o transportador for do tipo vibratório. Neste tipo de transportador, o avanço da sucata é complicado, se não impossível, de modelar. Por exemplo, pode-se observar que partes diferentes da mesma carga podem progredir em velocidades diferentes, dependendo de vários fatores. Além disso, após cada matéria prima do forno, a carga pode permanecer no transportador e será carregada no forno na próxima vez. Por estas razões, o conhecimento dos pesos das fracções de carga inicialmente carregadas no transportador não é tipicamente suficiente para determinar quanta matéria prima é alimentada ao forno em um tempo arbitrário.

#### DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[005] Uma primeira realização da presente invenção refere-se a um método para determinar uma massa de matéria prima descarregada por um transportador durante um primeiro intervalo de tempo, daqui em diante denotado  $\Delta t$ , em um forno metalúrgico, por exemplo, um forno de arco elétrico (fabricação de aço). O método compreende:

- tirar imagens digitais da matéria prima em uma zona específica do referido transportador, em que duas imagens sucessivas são separadas por um segundo intervalo de tempo  $\delta t \leq \Delta t$ ;
- para cada um dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$ :
- calcular a distância de avanço de um sub-volume de matéria

prima durante o referido segundo intervalo de tempo  $\delta t$  na referida zona específica do referido transportador por processamento numérico das duas imagens sucessivas associadas com o referido segundo intervalo de tempo  $\delta t$ ;

- determinar pelo menos um perfil de altura transversal do referido sub-volume da matéria prima;

- determinar uma densidade de matéria prima eficaz para o referido sub-volume de matéria prima; e

- calcular a referida massa de matéria prima descarregada pelo referido transportador durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  no forno com base na referida distância de avanço, o referido pelo menos um dos perfis de altura transversal e a referida densidade de matéria prima efetiva, calculada ou determinada para cada um dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$ .

[006] Como aqui utilizado, a expressão “matéria prima” designa material sólido a ser carregado no forno. Por exemplo, no caso de um forno de arco elétrico para produção de aço, a matéria prima é material contendo ferro e abrange, em particular sucata (aço) e DRI. Vale a pena notar que o EP 2606305 se baseia no conhecimento dos pesos inicialmente medidos das diferentes frações de carga e permanece em silêncio sobre qualquer cálculo subsequente da massa de matéria prima.

[007] De preferência, o método compreende calcular a velocidade de avanço do sub-volume de matéria prima no transportador e/ ou o tempo de chegada do sub-volume de matéria prima no forno.

[008] Será apreciado que o método de acordo com a primeira realização da invenção extrai a distância de avanço da matéria prima (para cada segundo intervalo de tempo  $\delta t$ ) das imagens digitais tiradas com a câmera. A massa de matéria prima que passa através da zona específica do transportador em um dado segundo intervalo de tempo permite que o sistema seja derivado quando essa massa chegará à entrada do forno e será

descarregada no mesmo. O sistema pode assim acompanhar a carga do forno e também antecipar a carga futura com algum tempo de antecedência. O horizonte de previsão depende da distância entre a zona específica do transportador, onde as medições são feitas, e a entrada no forno, bem como a velocidade de avanço da matéria prima. Como a velocidade de avanço pode variar, o horizonte de previsão também pode variar. No entanto, esse tempo pode ser usado para ajustar os parâmetros operacionais do forno de modo a otimizar sua eficiência (em termos de capacidade e/ ou consumo de energia e/ ou custos operacionais).

[009] Como usado aqui, um “intervalo de tempo” é um período que tem uma hora de início, uma hora de fim e uma duração (a diferença entre as horas de início e fim). Nas expressões “primeiro intervalo de tempo” e “segundo intervalo de tempo”, numerais ordinais “primeiro” e “segundo” são usados apenas para distinguir ambos os tipos de intervalos de tempo e não significam qualquer hierarquia ou ordem no tempo. De fato, como mencionado acima, o método de acordo com a primeira realização da invenção pode ser o de prever a massa de matéria prima descarregada por um transportador durante um primeiro intervalo de tempo futuro.

[010] Vale a pena notar que a duração do primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  e do segundo intervalo de tempo  $\delta t$  não precisa ser fixa, embora isso possa ser preferido por simplicidade. De fato, ambas as durações  $\Delta t$  e  $\delta t$  podem ser ajustadas dinamicamente.

[011] A duração do segundo intervalo de tempo pode ser o tempo entre duas imagens consecutivas da câmera ou seu múltiplo inteiro (caso em que as duas imagens sucessivas acima mencionadas não são vizinhas mais próximas na sequência de imagens tiradas pela câmera). A duração do segundo intervalo de tempo pode ser alterada selecionando quantas imagens são descartadas após cada imagem que é mantida para

processamento numérico. Se a taxa de quadros da câmera for ajustável, a duração do segundo intervalo de tempo poderá ser ajustada por meio da variação da taxa de quadros.

[012] De preferência, o cálculo da massa de matéria prima descarregada durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  compreende,

- para cada segundo intervalo de tempo  $\delta t$ , calcular a massa de um sub-volume de matéria prima com base na distância de avanço, o pelo menos um perfil de altura transversal e a densidade de matéria prima efetiva determinada; e

- somar as massas dos sub-volumes de matéria prima que chegam ao forno durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$ .

[013] O método compreende, de um modo preferido, uma análise numérica de imagens digitais tiradas da matéria prima na zona específica do transportador, por exemplo, durante o segundo intervalo de tempo  $\delta t$  respectivo, para determinar uma distribuição de tamanho de partícula (granulometria) da matéria prima.

[014] A densidade de matéria prima eficaz em cada sub-volume pode ser determinada com base na distribuição do tamanho de partícula da matéria prima. A densidade de matéria prima eficaz no sub-volume pode, por exemplo, ser determinada com base na distribuição de tamanho de partícula da matéria prima determinado por granulometria ótica e utilizando uma tabela de consulta na qual as densidades de matéria prima eficazes estão correlacionadas a distribuições de tamanho de partículas de matéria prima. Como alternativa, o método poderia usar um classificador treinado para atribuir uma densidade de matéria prima efetiva a cada sub-volume de matéria prima com base na (s) imagem (ns) digital (is) correspondente (s). As imagens digitais tiradas na zona específica do transportador são preferencialmente usadas como base para a distribuição do tamanho de partículas por medição de

granulometria ótica.

[015] A duração dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$  pode ser ajustada dinamicamente com base na distribuição do tamanho de partícula da matéria prima. Um problema com a matéria prima triturada é que, se o segundo intervalo de tempo for muito longo, a superfície da matéria prima, como vista pela câmera, pode mudar significativamente. Isto é devido ao tremor produzido pelo mecanismo de transporte de vibração subjacente. Partículas de matéria prima no topo da pilha podem se mover facilmente, cobrindo outras partículas, ainda visíveis nas imagens anteriores. Consequentemente, no caso de matéria prima mais fina, pode ser vantajoso reduzir a duração dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$ , enquanto que no caso de matéria prima maior, a duração dos segundos intervalos de tempo pode ser aumentada.

[016] De preferência, se as imagens captadas pela câmera forem imagens a cores, o processamento numérico para calcular a distância de avanço inclui a conversão das imagens a cores para imagens em escala de cinza. Outras correções de imagem, como, por exemplo, corte, ajuste de contraste e/ ou filtragem, podem ser realizados, bem como parte do processamento numérico.

[017] O processamento numérico para calcular a distância de avanço comprehende, de preferência, a seleção de uma porção de matéria prima em uma de duas imagens sucessivas; e identificar a porção correspondente de matéria prima na outra das duas imagens sucessivas. A porção de matéria prima que é selecionada é preferencialmente contida em uma região delimitada (por exemplo, uma região de interesse) de uma das duas imagens sucessivas. A região de interesse que contém a porção de matéria prima selecionada pode ser retangular ou redonda ou de qualquer outra forma adequada. A região de interesse pode ter um tamanho e uma posição fixos na imagem. Alternativamente, a região de interesse pode ser

ajustada dinamicamente dependendo do conteúdo da imagem, isto é, a matéria prima que está sendo fotografada atualmente. Identificação da parte selecionada de matéria prima na outra das duas imagens sucessivas pode, por exemplo, ser feito por correlação cruzada entre a região de interesse na primeira imagem e na segunda imagem. Quando a posição da porção da matéria prima na outra das duas imagens sucessivas foi encontrada (por correlação cruzada ou de qualquer outra forma adequada, por exemplo, registro de imagem ou detecção de características), a distância de avanço daquela porção da matéria prima é conhecida em unidades de pixels da câmera. Ao dimensionar corretamente a distância (na direção do deslocamento) e dividir pelo intervalo de tempo entre as duas imagens, a velocidade de avanço da matéria prima é facilmente calculada. Outra opção seria selecionar um ou mais pedaços individuais de matéria prima, por exemplo, em diferentes regiões da imagem e para identificar essas partes na outra imagem. Se for determinado que as peças individuais se movem por diferentes distâncias, a média dessas distâncias poderia ser usada como a distância de avanço da matéria prima.

[018] A escalonagem da distância de avanço e/ ou da velocidade de avanço da matéria prima é preferencialmente realizada com base na distância entre a câmera e a (parte da) matéria prima atualmente considerada para calcular a distância de avanço e/ ou a velocidade de avanço. Essa distância (a seguir designada por distância da linha de visão) pode ser inferida a partir do perfil de altura transversal correspondente à matéria prima visualizada pela câmera. O fator de escala que converte a distância de avanço de unidades de pixels em unidades de comprimento depende da distância da linha de visão. Escala dinâmica é preferida e pode até mesmo ser necessária para alcançar a precisão desejada nos cálculos de distância de avanço e/ ou avanço de velocidade se as variações nos perfis de altura forem significativas

em comparação com a distância da linha de visão. No entanto, se o nível de altura da matéria prima no transportador for mais ou menos constante, um fator de escala médio pode ser suficiente para determinar o deslocamento correto entre as imagens em consideração e, consequentemente, calcular a distância ou velocidade de avanço correta da matéria prima.

[019] De acordo com uma realização do método, a seleção da porção de matéria prima em uma das duas imagens sucessivas comprehende determinar oticamente a distribuição do tamanho de partícula da matéria prima através da imagem; e selecionar a porção de matéria prima dependendo da distribuição de tamanho de partícula. De um modo preferido, o sistema seleciona uma porção de matéria prima cuja distribuição do tamanho de partícula permite uma boa correlação cruzada. Por exemplo, regiões de imagem contendo apenas pequenos pedaços de matéria prima podem levar a resultados de identificação insatisfatórios na segunda imagem. Se a seleção dinâmica for implementada, regiões com peças de matéria prima um pouco maiores podem ser preferidas. Outro critério para selecionar dinamicamente uma porção da matéria prima pode ser a posição da mesma na imagem: qualquer parte da matéria prima que provavelmente não apareça na outra imagem devido ao seu movimento não será selecionada. A seleção de uma porção da matéria prima em uma das duas imagens sucessivas pode compreender, alternativamente ou adicionalmente, analisar o conteúdo de uma das imagens usando um ou mais critérios diferentes da distribuição de tamanho de partícula (por exemplo, distribuição de áreas claras e escuras, presença de bordas reconhecíveis, etc.) e, em seguida, selecionando a porção da matéria prima dependendo do resultado dessa análise.

[020] O método de acordo com a primeira realização da invenção é especialmente adequado em combinação com um transportador do tipo oscilante (ou do tipo vibratório). Essa descoberta é surpreendente, uma vez

que o movimento da matéria prima em um transportador oscilante não é uma tradução. Com efeito, à medida que a matéria prima avança, existe um movimento relativo significativo entre as peças de matéria prima. Como cada pedaço de matéria prima segue sua própria trajetória individual, não se pode antecipar que a detecção ótica da distância de avanço (ou da velocidade de avanço) seria possível com um tempo computacional razoável enquanto se produz resultados úteis. Surpreendentemente, no entanto, esse foi o caso quando o reconhecimento de padrões baseado em correlação foi usado para a detecção da distância de avanço.

[021] Uma segunda realização da invenção refere-se a um sistema para determinar uma massa de matéria prima descarregada por um transportador durante um primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  em um forno metalúrgico, por exemplo, um forno de arco elétrico. O sistema compreende

- uma ou mais câmeras configuradas e dispostas para tirar imagens sucessivas da matéria prima em uma zona específica do transportador, sendo duas imagens sucessivas separadas por um segundo intervalo de tempo  $\delta t \leq \Delta t$ ;

- pelo menos um scanner a laser ou câmera de alcance (por exemplo, uma câmera de tempo de voo em 3-D) para determinar pelo menos um perfil de altura transversal de um sub-volume de matéria prima na zona específica;

- um sistema de processamento de dados configurado para:

- calcular, para cada segundo intervalo de tempo  $\delta t$ , a distância de avanço do respectivo sub-volume da matéria prima durante o segundo intervalo de tempo  $\delta t$  pelo processamento numérico das duas imagens sucessivas associadas ao segundo intervalo de tempo  $\delta t$ ; e

- calcular a massa de matéria prima descarregada pelo transportador durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  no forno com base na

distância de avanço, pelo menos um perfil de altura transversal e a densidade de matéria prima efetiva, calculada, determinada ou fixada para cada um do segundo tempo intervalos  $\Delta t$ .

[022] O sistema pode compreender pelo menos um módulo de iluminação para iluminar o campo de visão de uma ou mais câmeras, de modo a permitir tempos de exposição suficientemente curtos, reduzir a relação sinal-ruído e aumentar o contraste das imagens.

[023] De preferência, uma ou mais câmeras são colocadas acima do transportador, a uma distância do transportador, selecionado de modo a garantir resolução de imagem suficiente. Por exemplo, uma distância da uma ou mais câmeras do transportador compreendida entre uma e três vezes a largura transversal do transportador pode ser adequada no caso de uma ou mais câmeras estarem equipadas com ótica padrão.

[024] O sistema é preferivelmente configurado para realizar o método de acordo com a primeira realização da invenção e é particularmente adequado para metalurgia, por exemplo, arco elétrico, fornos equipados com uma instalação de carregamento “contínuo”.

[025] Uma terceira realização da invenção refere-se a um método para operar um forno metalúrgico (por exemplo, um forno de arco elétrico), no qual a matéria prima é descarregada pelo transportador. Um método de acordo com a terceira realização da invenção compreende:

- prever a massa de matéria prima descarregada no forno durante um primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  usando o método da primeira realização da invenção, e
- modificar os parâmetros operacionais do forno com base na massa prevista de matéria prima; e/ ou
- modificar o fluxo de massa da matéria prima descarregada no forno com base nos parâmetros de operação alvo do forno.

[026] O método de operação do forno, portanto, usa as previsões para controlar, manual ou automaticamente, a operação do forno e/ ou para corrigir o processo de carregamento (contínuo). De preferência, ambos os tipos de regulação são combinados para operar o forno em um regime ótimo.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[027] Os desenhos anexos ilustram várias realizações da presente invenção e, juntamente com a descrição detalhada, servem para explicar os seus princípios. Nos desenhos:

- a Figura 1 é uma vista esquemática de um mecanismo de carregamento de um forno de arco elétrico para fabricação de aço;
- a Figura 2 contém duas imagens tiradas em momentos diferentes por uma câmera, mostrando o movimento da matéria prima em um transportador;
- a Figura 3 é uma vista esquemática em corte transversal da matéria prima composta de peças grandes, em um transportador;
- a Figura 4 é uma vista esquemática em corte transversal da matéria prima composta por peças menores, em um transportador;
- a Figura 5 é uma representação gráfica dos perfis de altura detectados da pilha de matéria prima no transportador.

#### **DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO**

[028] As Figuras 1 a 5 descrevem realizações de um sistema simplificado (10) para carregar um forno de arco elétrico para produção de aço (16). O sistema de carregamento (10) comprehende uma matéria prima de depósito de carga (12), em particular, sucata, em um transportador (14). O transportador (14) é do tipo oscilante, o que é mais adequado para o transporte da matéria prima devido às suas propriedades de não-entupimento e auto-limpeza.

[029] Durante o transporte para o forno (16) no transportador

(14), a matéria prima passa por uma estação de caracterização de matéria prima (18). A estação de caracterização de matéria prima (18) é conectada a um processador (20). O processador (20) transmite informação sobre a matéria prima para um centro de controle (22). Baseado nas informações recebidas da estação de caracterização de matéria prima (18), o controlador no centro de controle (22) pode modificar os parâmetros operacionais do forno de arco elétrico (16) e/ ou modular o futuro fluxo de massa da matéria prima. Ambas as medidas servem para conduzir o forno de arco elétrico (16) da forma mais eficiente possível.

[030] A estação de carregamento de matéria prima (12) compreende tipicamente uma grua de guindaste ou instalação semelhante, na qual a quantidade de matéria prima carregada no transportador (14) não, ou pelo menos não precisamente, é controlada. Por conseguinte, a massa de matéria prima descarregada no forno de arco eléctrico (16) durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  não pode ser determinada baseando-se apenas na informação da estação de carregamento de matéria prima (12), se existir. Além disso, a forma, o tamanho e a relação de aspecto das peças da matéria prima podem mudar significativamente com o tempo.

[031] A estação de caracterização de matéria prima (18) serve para determinar opticamente a velocidade de avanço e a distribuição de massa de matéria prima na direção longitudinal do transportador (14). A estação de caracterização de matéria prima (18) está localizada entre a estação de carregamento (12) e o forno de arco elétrico (16) e tem como componentes principais uma câmera digital (24) e um scanner a laser (26) fixo acima do transportador (14), a uma distância do transportador (14) de preferência compreendido entre uma e três vezes a largura transversal do transportador (14). Para um transportador (14) com uma largura transversal de 2 m, a câmera (24) e o scanner a laser (26) podem, por exemplo, ser fixado entre 2 e 6 m

acima do transportador (14).

[032] A câmera digital (24) tira imagens digitais da matéria prima a uma velocidade de quadro, de preferência compreendida no intervalo de 1 Hz a 30 Hz, passando a estação de caracterização de matéria prima (18). O campo de visão (28) da câmera (24) cobre toda a largura do transportador (14) e uma secção do transportador (14) na sua direção longitudinal. Por exemplo, a zona coberta pela câmera (24) pode ser de 2 metros por 2 metros de transportador (14) em tamanho. A estação de caracterização de matéria prima (18) comprehende ainda um módulo de iluminação (30), por exemplo, comprehendendo LEDs, para iluminar o campo de visão (28) da câmera (24).

[033] Não existem requisitos específicos em relação ao tipo de câmera (24), exceto que é preferencialmente uma câmera robusta configurada para suportar as condições ambientais às quais está exposta.

[034] As imagens tiradas pela câmera (24) são processadas para extrair a velocidade de avanço da matéria prima, a distribuição do tamanho de partícula e a densidade de matéria prima eficaz.

[035] A extração da velocidade de avanço baseia-se na chamada técnica de “registro de imagens”. Duas imagens (32 - 34) são selecionadas na sequência de imagens distribuída pela câmera (24). As imagens (32 - 34) podem ser imagens diretamente sucessivas, mas isso não é necessariamente preferido, especialmente se a câmera (24) tiver uma elevada taxa de quadro. O intervalo de tempo  $\delta t$  entre estas imagens (32 - 34) é escolhido suficientemente pequeno, de modo que pelo menos parte da matéria prima esteja presente em ambas as imagens (32 - 34), embora em locais diferentes. Em uma das imagens (32), é escolhido o chamado 'modelo' (36) (sub-imagem, ou região de interesse) contendo uma porção da matéria prima, e o processador (20) tenta encontrar a mesma porção de matéria prima (38) na segunda imagem (34). Na segunda imagem (34), a porção de matéria prima moveu-se a uma certa

distância (40) em relação à primeira imagem (32). A identificação da porção de matéria prima na segunda imagem (34) é realizada por correlação cruzada 2-D do modelo (36) com a segunda imagem. A identificação é considerada alcançada na área em que a função de correlação cruzada atinge o seu máximo. A distância, em pixels, entre o modelo (36) e a área na segunda imagem (38) corresponde à distância de avanço (40) da matéria prima no intervalo de tempo  $\delta t$ . A conversão da distância de avanço (40) em pixels para a distância real de avanço (40) (por exemplo, em unidades métricas) é realizada com base em uma calibração feita anteriormente na câmera (24). Ao dividir a distância de avanço (40) pelo intervalo de tempo entre as duas imagens (32 - 34), a velocidade de translação é obtida.

[036] O processador (20) é de preferência configurado para extrair a velocidade de avanço de forma totalmente automática. O algoritmo pode compreender algum pré-processamento de imagem, em particular para lidar com os aspectos altamente variáveis da matéria prima: tipo (sucata ou DRI), tamanho, forma, cor (limpo para completamente oxidado).

[037] Um primeiro passo de pré-processamento pode compreender cortar as imagens, a fim de remover áreas de borda sem informação útil.

[038] No caso da câmera (24) tirar imagens a cores, pode ser realizado um passo de pré-processamento compreendendo a conversão das imagens a cores em imagens em escala de cinza. Este passo não reduz, ou pelo menos não reduz significativamente, a quantidade de informação presente na imagem, mas reduz significativamente os custos computacionais das correlações cruzadas.

[039] Um alto contraste das imagens é útil para detectar uma correlação cruzada mais robusta e máxima. Para este propósito, o processador (20) aplica uma rotina de equalização de histograma adaptativa para aumentar

o contraste da imagem.

[040] Para cada imagem, a granulometria (distribuição de tamanho de partícula) das partes da matéria prima pode ser obtida usando a chamada técnica de “abertura morfológica da imagem”. Esta técnica corresponde a passar uma máscara sobre a imagem consistindo de um elemento estruturante (um disco circular de abertura de diâmetro variável (em pixels), ou de outra forma) e contando o número de pixels relacionados aos contornos das peças de matéria prima imageadas, que passar por este elemento de estruturação de tamanho variável. Esta técnica também pode ser referida como “peneiração ótica”. A informação sobre a granulometria da matéria prima pode ser usada pelo processador (20) para ajustar dinamicamente o tamanho (e possivelmente a forma) do modelo (36) a ser rastreado. Normalmente, peças maiores de matéria prima exigem um modelo maior do que as menores para uma boa detecção de deslocamento. Além disso, esses dados de granulometria podem ser usados para fornecer à informação do operador do forno uma informação mais “objetiva” sobre qual tipo, ou grau, de matéria prima é atualmente transportado no transportador.

[041] Outras técnicas de granulometria ótica poderiam ser usadas. No entanto, a técnica de “abertura de imagem” é particularmente bem adequada, uma vez que a correlação cruzada é preferencialmente realizada em imagens obtidas pela filtragem obtida de acordo com a técnica de “abertura morfológica da imagem”. Essas imagens filtradas contêm apenas recursos com um diâmetro (maior extensão) dentro de um determinado intervalo.

[042] O digitalizador a laser (26) está configurado e disposto para digitalizar (42) a matéria prima em um plano perpendicular (transversal) ao movimento da matéria prima. A varredura (42) fornece pelo menos um perfil de altura (44) do sub-volume de matéria prima localizado passando pela estação de caracterização de matéria prima (18). Os perfis de altura (44) que são

registrados sucessivamente podem ser combinados para produzir uma representação 3-D da superfície de matéria prima do sub-volume. Um exemplo de tal representação 3-D de um sub-volume do transportador de matéria prima (14) é fornecido na figura 5. Em vez de um scanner a laser linear (registrando fatias individuais de uma cena), a estação de caracterização de matéria prima (18) poderia alternativamente compreender scanner a laser 3-D ou uma câmera de tempo de voo 3D.

[043] Com base na distribuição de tamanho de partícula determinado opticamente, o processador (20) determina a densidade eficaz da matéria prima. Utilizando essa informação em combinação com os perfis de altura (44), as massas dos sub-volumes de matéria prima podem ser calculadas.

[044] A determinação da massa de um sub-volume da matéria prima requer o conhecimento do volume aparente  $V_{app}$  do sub-volume da matéria prima e da densidade efetiva  $\rho_{eff}$  da mesma. Em geral, a relação entre o volume aparente, a densidade efetiva, o volume em massa  $V$  e a densidade aparente  $\rho$  pode ser escrita como  $\rho V = \rho_{eff} V_{app}$ . O volume aparente  $V_{app}$  é conhecido através de pelo menos um perfil de altura (44) medido pelo scanner a laser (26). Por uma questão de clareza, dois exemplos estão representados na figura 3 e 4, onde a distribuição dos tamanhos de partículas da matéria prima é alta, respectivamente um tamanho médio de partícula baixo, enquanto o volume aparente  $V_{app}$  de ambas as porções de matéria prima é aproximadamente o mesmo. O processador (20) determina a densidade efetiva  $\rho_{eff}$  do sub-volume de matéria prima usando uma tabela de consulta na qual as densidades de matéria prima efetiva são correlacionadas com as distribuições de tamanho de partícula de matéria prima. Na etapa final, para determinar a massa de um sub-volume da matéria prima, o processador (20) multiplica a densidade efetiva  $\rho_{eff}$  pelo volume aparente  $V_{app}$ .

[045] Embora uma forma de realização específica tenha sido descrita aqui em detalhe, os técnicos no assunto apreciarão que várias modificações e alternativas a esses detalhes poderiam ser desenvolvidas à luz dos ensinamentos gerais da invenção. Por conseguinte, as disposições particulares divulgadas destinam-se a ser apenas ilustrativas e não limitativas quanto ao escopo da invenção, que deve ser dada a amplitude completa das reivindicações anexas e de todos e quaisquer equivalentes dos mesmos.

### REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA DETERMINAR UMA MASSA DE MATÉRIA PRIMA (18) descarregada por um transportador (14) durante um primeiro intervalo de tempo  $\delta t$  em um forno metalúrgico (16), caracterizado por compreender:

- tirar imagens digitais (32, 34) da matéria prima (18) em uma zona específica do transportador (14), em que duas imagens sucessivas (32, 34) são separadas por um segundo intervalo de tempo  $\delta t \leq \Delta t$ ;
- para cada um dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$ :
- calcular uma distância de avanço (40) de um sub-volume de matéria prima (18) durante o segundo intervalo de tempo  $\delta t$  na zona específica do transportador (14) por processamento numérico das duas imagens sucessivas (32, 34) associadas com o segundo intervalo de tempo  $\delta t$ ;
- determinar pelo menos um perfil de altura transversal (44) do sub-volume da matéria prima (18);
- determinar uma densidade de matéria prima (18) eficaz para o sub-volume de matéria prima (18); e
- calcular a massa de matéria prima (18) descarregada pelo transportador (14) durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  no forno (16) com base na distância de avanço (40), o pelo menos um dos perfis de altura transversal (44) e a densidade de matéria prima (18) efetiva, calculada ou determinada para cada um dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$ .

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo cálculo da massa de matéria prima (18) descarregada pelo transportador (14) durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$ , compreender:

- para cada segundo intervalo de tempo  $\delta t$ , calcular a massa do sub-volume da matéria prima (18) com base na distância de avanço (40), o pelo menos um perfil de altura transversal (44) e a densidade de matéria prima

eficaz determinada; e

- somando as massas de sub-volumes de matéria prima (18) que chegam ao forno (16) durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$ .

3. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado por compreender ainda uma análise numérica de uma imagem digital (32, 34) tirada da matéria prima (18) na zona específica do transportador (14), para determinar uma distribuição do tamanho de partícula da matéria prima (18).

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela densidade de matéria prima (18) eficaz no sub-volume ser determinada com base na distribuição de tamanho de partícula da matéria prima (18).

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pela densidade de matéria prima (18) eficaz no sub-volume ser determinada com base na distribuição de tamanho de partícula da matéria prima (18) e utilizando uma tabela de consulta em que as densidades de matérias-primas (18) eficazes estão correlacionadas com distribuições de tamanho de partículas.

6. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 4, caracterizado pela duração dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$  ser ajustada dinamicamente com base na distribuição de tamanho de partícula da matéria prima (18).

7. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo processamento numérico para calcular a distância de avanço (40) compreender:

- selecionar uma porção de matéria prima (18) em uma das duas imagens sucessivas (32, 34); e

- identificar a porção correspondente de matéria prima (18) na outra das duas imagens sucessivas (32, 34).

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pela seleção de uma porção da matéria prima (18) em uma de duas imagens sucessivas (32, 34) compreender:

- determinar uma distribuição de tamanho de partícula da matéria prima (18) na imagem (32, 34); e
- selecionar a porção de matéria prima (18) com base na distribuição de tamanho de partícula.

9. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado por ser calculada uma velocidade de avanço do sub-volume de matéria prima (18) no transportador (14).

10. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado por compreender o escalonamento da distância de avanço (40) e/ ou a velocidade de avanço da matéria prima (18) com base na distância entre uma câmera (24) e a matéria prima (18) que está sendo considerada no cálculo da distância de avanço (40) e/ ou a velocidade de avanço.

11. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo escalonamento ser realizado dinamicamente, dependendo dos perfis de altura transversal (44).

12. SISTEMA (10) PARA DETERMINAR UMA MASSA DE MATÉRIA PRIMA (18) descarregada por um transportador (14) durante um primeiro intervalo de tempo  $\delta t$  em um forno metalúrgico (16), caracterizado por compreender:

- pelo menos uma câmera (24) capaz de tirar sucessivas imagens da matéria prima (18) em uma zona específica do transportador (14), em que duas imagens sucessivas (32, 34) são separadas por um segundo intervalo de tempo  $\delta t \leq \Delta t$ ;

- pelo menos um scanner a laser (26) ou uma câmera de alcance para determinar pelo menos um perfil de altura transversal (44) de um sub-

volume de matéria prima (18) na zona específica;

- um sistema de processamento de dados (22) projetado para:
  - calcular, para cada segundo intervalo de tempo  $\delta t$ , uma distância de avanço (40) do respectivo sub-volume da matéria prima (18), durante o segundo intervalo de tempo  $\delta t$ , por tratamento numérico das duas imagens sucessivas (32, 34) associadas com o segundo intervalo de tempo  $\delta t$ ; e
  - calcular a massa de matéria prima (18) descarregada pelo transportador (14) durante o primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  no forno (16), com base na distância de avanço (40), o pelo menos um perfil de altura transversal (44) e a densidade de matéria prima (18) efetiva, calculada, determinada ou fixada para cada um dos segundos intervalos de tempo  $\delta t$ .

13. SISTEMA (10), de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por compreender pelo menos um módulo de iluminação (30) para iluminar um campo de visão (28) da pelo menos uma câmera (24), de modo a reduzir a proporção de sinal para ruído e melhorar o contraste das imagens (32, 34).

14. SISTEMA (10), de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 15, caracterizado por dita pelo menos uma câmera (24) ser colocada por cima do transportador (14), a uma distância compreendida entre uma e três vezes a largura transversal do transportador (14).

15. MÉTODO PARA OPERAR UM FORNO METALÚRGICO (16), no qual uma matéria prima (18) é descarregada por um transportador (14), caracterizado por compreender:

- prever a massa de matéria prima (18) descarregada no forno (16) durante um primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$  de acordo com o método, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11,
- modificar os parâmetros de funcionamento do forno (16), com base na massa da matéria prima (1) descarregada no forno (16), durante o

primeiro intervalo de tempo  $\Delta t$ ; e/ ou

- modificar o fluxo de massa da matéria prima (18) descarregada no forno (16) com base nos parâmetros de operação alvo do forno (16).

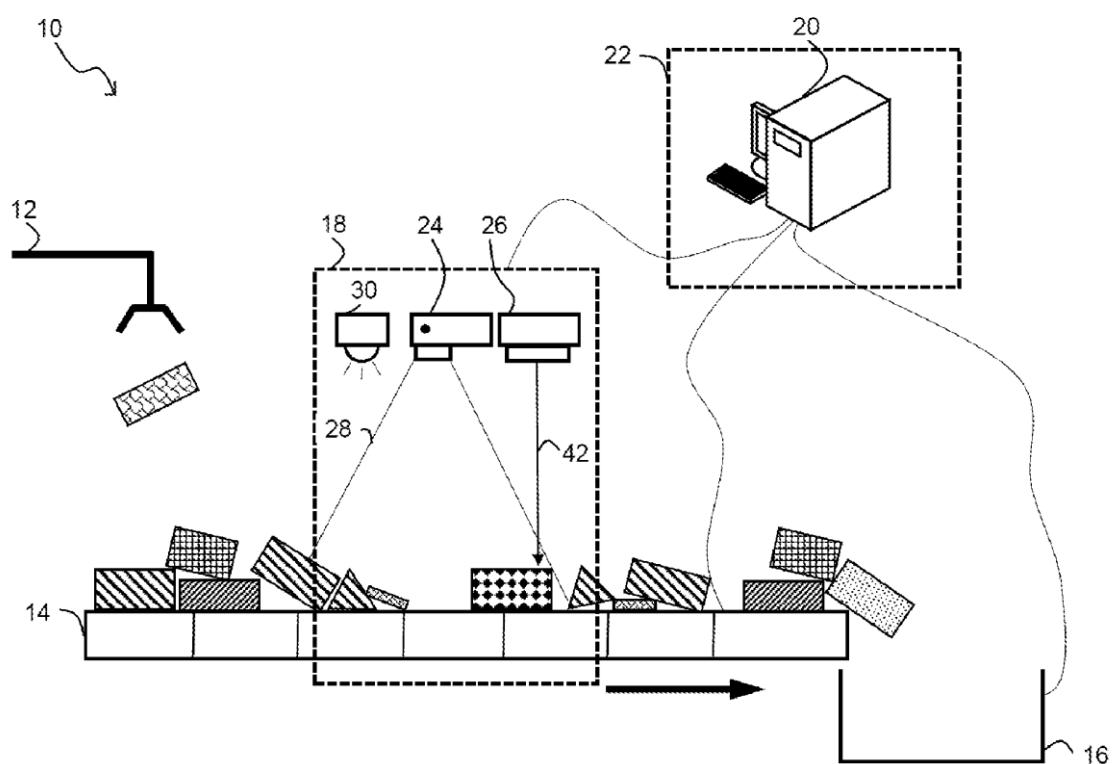
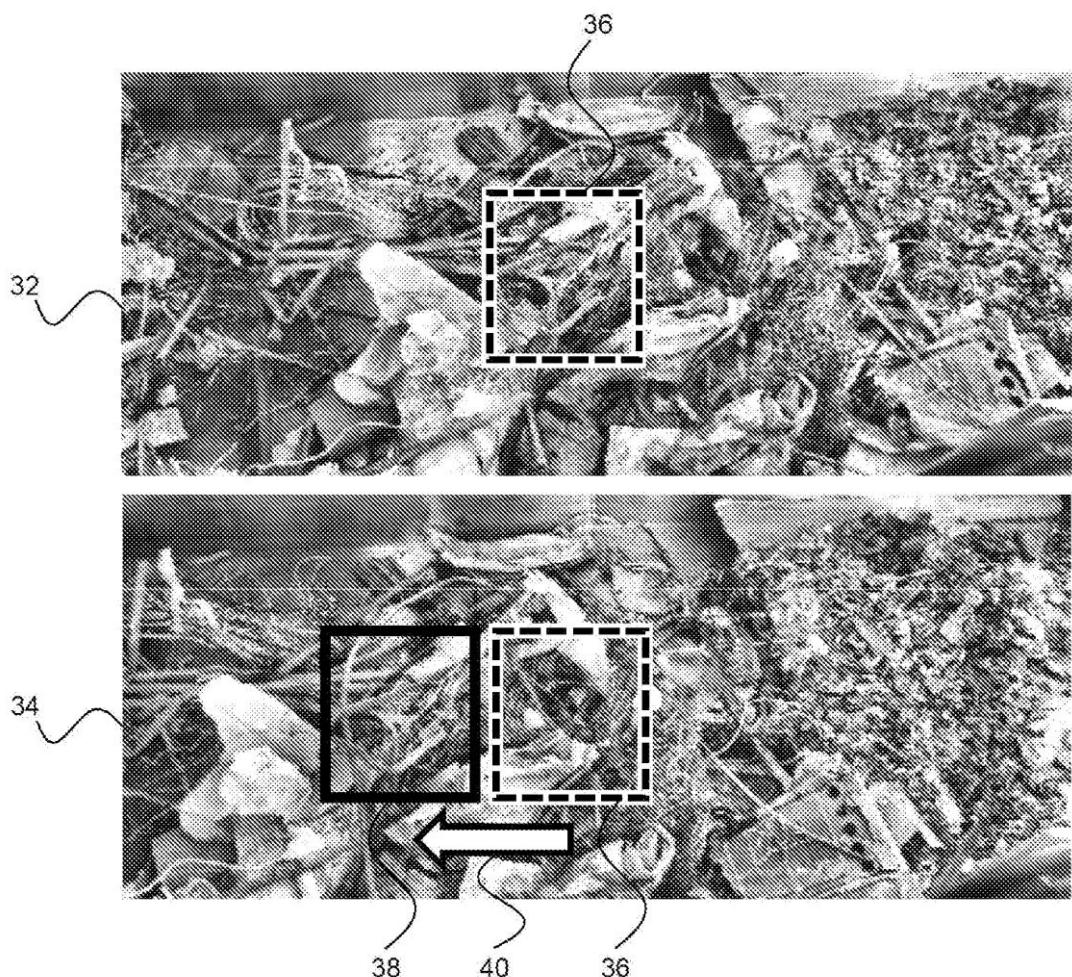
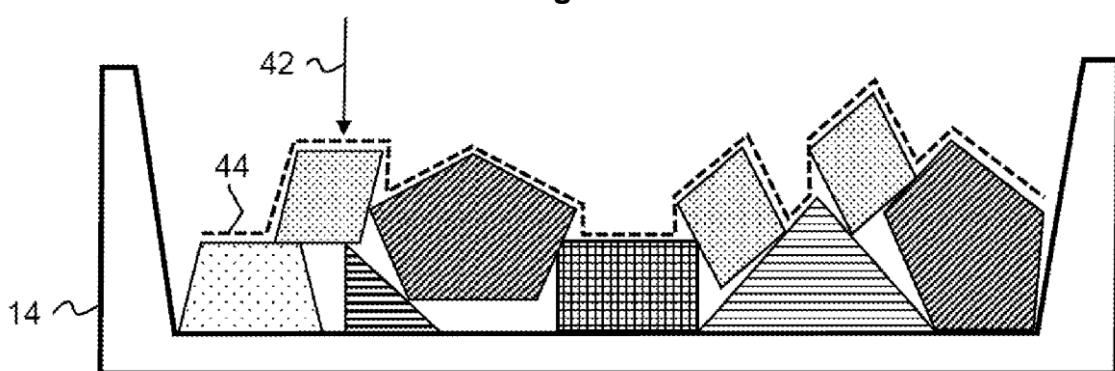


Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

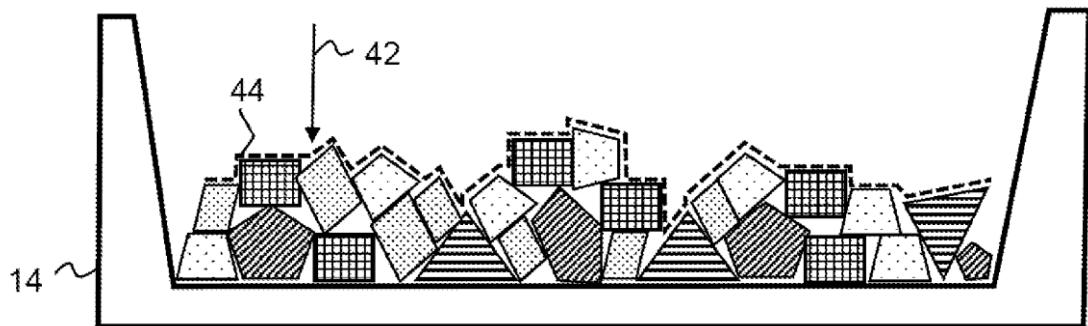


Fig. 4

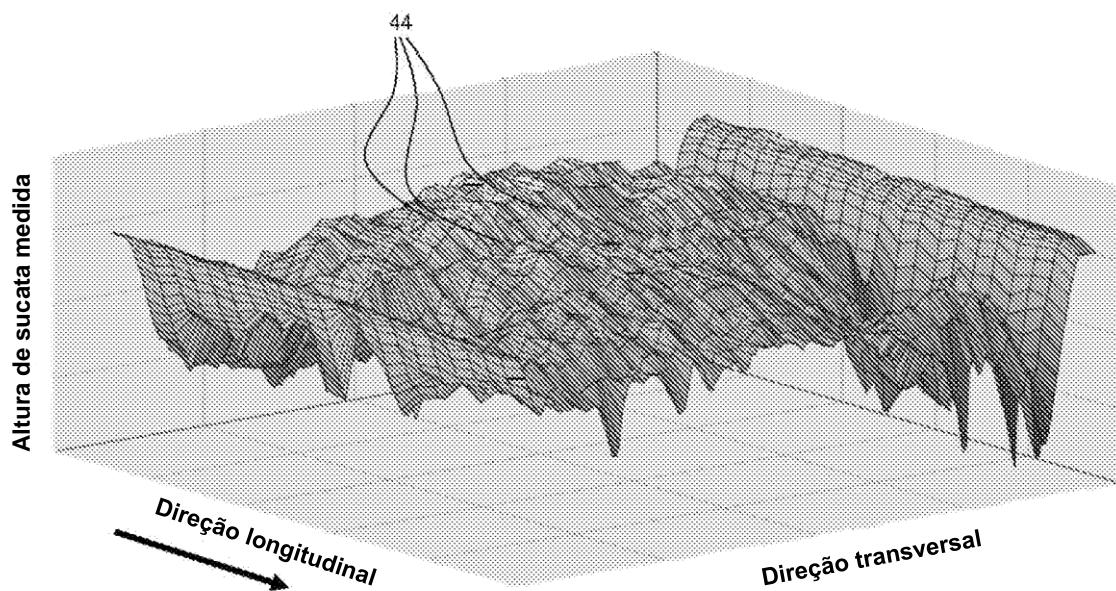


Fig. 5