



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

(11) PI 1015989-4 B1



* B R P I 1 0 1 5 9 8 9 B 1 *

(22) Data do Depósito: 03/12/2010

(45) Data de Concessão: 22/12/2020

(54) Título: OTIMIZAÇÃO ON-LINE DE ENDURECIMENTO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO ÚMIDO EM UMA GRADE EM MOVIMENTO

(51) Int.Cl.: G05B 15/00; G05B 13/00; C22B 1/14.

(30) Prioridade Unionista: 04/12/2009 IN 2811/MUM/2009.

(73) Titular(es): TATA CONSULTANCY SERVICES LIMITED.

(72) Inventor(es): VENKATARAMANA RUNKANA; SUSHANTA MAJUMDER.

(57) Resumo: OTIMIZAÇÃO ON-LINE DE ENDURECIMENTO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO ÚMIDO EM UMA GRELHA EM MOVIMENTO A presente invenção revela um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento e um método do mesmo, o sistema (12) compreendendo: um meio interativo (66) para monitorar e controlar o forno (10) para fornecer uma operação otimizada de forno, meio de calibragem (62) para gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para fins de validação, e uma unidade de processamento (60) que recebe, em tempo real, os dados de processo online (70) a partir do meio interativo (66) e computar no mesmo uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real que são casados com pontos de ajuste ideais correspondentes a partir do meio de calibragem (62), em que, se a otimização for exigida, um sinal de otimização é gerado e comunicado ao meio interativo (66) . O sistema (12) prevê em tempo real os parâmetros de produto e processo, que não podem ser medidos diretamente, desse modo fornecendo otimização em tempo real da operação do forno, e desse modo reduzindo os custos de produção e operação.

**"OTIMIZAÇÃO ON-LINE DE ENDURECIMENTO DE PELOTAS DE MINÉRIO
DE FERRO ÚMIDO EM UMA GRADE EM MOVIMENTO"**

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção refere-se ao campo de controle automatizado de processo. Particularmente, a presente invenção refere-se a um sistema para otimização da operação de um forno de endurecimento.

Antecedentes da Técnica

[0002] A produção de pelotas de minério de ferro nas indústrias de ferro e aço requer normalmente os estágios de concentração de minério e aglomeração dos concentrados de minério-ferro. O processo de peletização de minério de ferro consiste em dois estágios chave nos quais os finos de minério de ferro são alimentados juntamente com uma mistura de aglutinante (por exemplo, bentonita), combustível (carvão ou coque) e fluxo (por exemplo, calcário), e umidade em dispositivos de compactação como um tambor giratório ou disco para produzir pelotas úmidas ou verdes. Essas pelotas úmidas são carregadas sobre a cadeia de uma grade em movimento para formar um leito compactado granular na extremidade de alimentação do forno de endurecimento. Endurecimento é essencialmente um processo de tratamento a calor no qual as pelotas úmidas são expostas a temperaturas elevadas e então resfriadas para transmitir as propriedades mecânicas e químicas necessárias e obter as pelotas queimadas.

[0003] Um forno de endurecimento de grade reta é utilizado para o processo de endurecimento das pelotas úmidas através de processamento térmico em temperaturas

elevadas. À medida que a cadeia da grade em movimento se move da extremidade de alimentação para a extremidade de descarga, o leito compactado granular é submetido ao gás de processo cada vez mais quente para secar e queimar as pelotas, e então ar ambiente é passado para resfriar as pelotas. Durante o processo de endurecimento vários fenômenos complexos ocorrem como secagem, endurecimento (ou cozimento), fusão e resfriamento de pelotas, combustão de coque, oxidação de magnetita, e calcinação de calcário.

[0004] Tipicamente, o forno de endurecimento de grade reta compreende sete zonas incluindo uma zona de secagem ascendente (UDD), uma zona de secagem descendente (DDD), uma zona de pré-aquecimento (PH), uma zona de queima (F) ou ignição (IGN), uma zona após queima (AF), uma primeira zona de resfriamento de fase (CZ1) e uma segunda zona de resfriamento de fase (CZ2). Dentro do forno os fluxos de gás/ar fluem através do leito em movimento poroso verticalmente em direção de corrente transversal com relação ao movimento de leito a partir da extremidade de alimentação para a extremidade de descarga. Interações multivariáveis dos processos físico-químicos na grade em movimento do forno tornam o processo altamente interativo e desse modo complexo de controlar.

[0005] A qualidade das pelotas de minério de ferro formadas do processo de endurecimento é definida pela resistência que obtêm durante esse processamento térmico e, tem uma relação direta com o histórico de temperatura-tempo a que as pelotas úmidas são expostas dentro do forno. Devido à falta de qualquer meio para medir diretamente o

perfil de temperatura de leito compactado granular dentro do forno, a operação é controlada indiretamente com base na temperatura máxima do gás de saída que sai do leito abaixo da cadeia da grade em movimento. Entretanto, a monitoração da temperatura de gás de saída não revela o quadro térmico completo do leito compactado granular. Além disso, as pelotas de minério de ferro queimadas descarregadas a partir do forno têm de ser levadas para um laboratório para teste off-line, na ausência de qualquer meio de tempo real para medir sua resistência. Essa informação, entretanto, pode ser obtida em intervalos de cada 2 h ou 4 h somente devido ao tempo necessário para coleta de amostra e teste no aparelho de laboratório.

[0006] Portanto, há a necessidade de um sistema de otimização em tempo real que se baseie em modelos de processo seguros para detectar e modificar os parâmetros de processo para aumentar a eficiência de processo em termos de aumento do nível de produção, redução dos custos operacionais, melhora do controle de qualidade de produto e redução do consumo de combustível e energia.

[0007] Várias tentativas foram feitas para automatizar o controle de processo e fornecer otimização em tempo real, algumas dessas divulgações são listadas na técnica anterior abaixo:

[0008] A patente No. US 6513024 revela um método de auto-otimização e um artigo do mesmo para aperfeiçoar rapidamente ou otimizar o desempenho de um objeto por realizar vários ciclos experimentais automáticos em variáveis selecionadas de controle conforme matrizes de

teste projetadas por computador. O artigo compreende um meio de código de programa legível por computador para executar uma pluralidade de ciclos experimentais automáticos computadorizados no objeto otimizável relativo a uma pluralidade de variáveis de controle, em que o meio de código de programa legível por computador executa as etapas de: planejar por computador um experimento projetado para cada um dos ciclos, executar em computador cada ciclo experimental para obter resultados de teste, analisar em computador os resultados de teste para otimizar o desempenho do objeto, codificação em computador para armazenagem em uma forma legível, e armazenamento em computador.

[0009] A publicação No. US 2002013664 revela um sistema e método para controle e monitoração de equipamento de rotação. A divulgação no documento US2002013664 provê um método implementado por computador para monitorar um componente mecânico utilizando uma rede neural ou classificador de distância ponderada, em que o método referencia um conjunto predeterminado de características de dados candidatos para um sensor que mede um atributo operacional do componente e deriva um subconjunto dessas características que são então utilizadas em tempo real para determinar variáveis de parâmetro. O banco de dados é atualizado em tempo real quando uma medição anômala é encontrada.

[00010] A publicação No. US 2009193936 revela um método e sistema para predição e controle de qualidade on-line em um forno de oxigênio. O sistema de acordo com o

documento US2009193936 compreende um banco de dados configurado para armazenar dados históricos associados a uma primeira qualidade turndown, um módulo de predição acoplado ao banco de dados, incluindo um modelo implementado por computador do forno baseado em regressão de vetor de suporte que é uma técnica estatística para produzir uma predição de primeira qualidade de turndown e adicionalmente configurado para receber os dados históricos, e um módulo de controle do tipo run-to-run acoplado ao módulo de predição e configurado para aplicar o modelo aos dados históricos para obter uma predição da primeira qualidade de turndown e comparar a predição com uma medição efetiva para ajustar uma receita de controle para o forno de oxigênio.

[00011] A publicação número US 2010219567 revela um aparelho e um método do mesmo para controlar uma linha de processo como uma linha de têmpera contínua ou linha de revestimento onde material de aço é continuamente processado. O método como revelado no documento US2010219567 compreende medir a qualidade do material de aço em uma posição que precede o processo de aquecimento e uma posição que sucede o processo de revestimento, verificar os resultados de medição para determinar se o material é aceitável ou não com base em um critério de determinação, registrar em um banco de dados, corrigir condições de processo incluindo temperaturas de aquecimento ou resfriamento, e velocidade de transferência do material de aço.

[00012] A publicação PCT número WO201092430 revela um método e um sistema para otimização de parâmetros para uma caldeira de recuperação. O sistema do documento WO201092430 revela um componente de modelo de processo tendo um modelo de processo que descreve a relação entre várias variáveis de processo para pelo menos uma unidade, um componente de estimação de parâmetro para estimar pelo menos um parâmetro de unidade, um componente de controlador para controlar uma segunda unidade com base no parâmetro estimado, em que o modelo de processo se baseia totalmente ou parcialmente em um primeiro modelo matemático de princípio e o componente de estimação de parâmetro utiliza medições on-line feitas ao longo das várias unidades da caldeira, computação de variáveis de processo utilizando o modelo de processo, uso de dados de laboratório para estimar os parâmetros de caldeira que não são diretamente mensuráveis.

[00013] Um artigo técnico publicado por Dominique Pomerleau e outros, na 11^a Conferência mediterrânea sobre controle e automação, intitulado "Optimization of a simulated iron-oxide pellets induration furnace", sugere otimização em tempo real do forno de endurecimento com base em modelos de processo seguros utilizando algoritmo de otimização - IMC, um algoritmo de otimização não linear estático, o modelo fornecendo parâmetros de processo como perfil de temperatura de fluxo de gás, equilíbrio de energia e queda de pressão nos fluxos de gás.

[00014] A presente invenção refere tal sistema de otimização, particularmente para um forno de endurecimento

utilizado para a produção de pelotas de minério de ferro, que utiliza um componente baseado em modelo para prever em tempo real, parâmetros de qualidade de pelota e processo que não podem ser medidos on-line e algoritmos de otimização e simulação, que são utilizados para implementar otimização em tempo real da operação do forno de endurecimento, para otimizar a produtividade sem afetar a qualidade de produto.

Objetivos da Invenção

[00015] Um objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento utilizado para a produção de pelotas de minério de ferro.

[00016] Outro objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que aumente a produtividade do forno.

[00017] Ainda outro objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que monitorea continuamente a operação do forno de endurecimento, sugere valores ótimos de parâmetros de processo manipulado e desse modo fornece uma qualidade de produto compatível.

[00018] Ainda outro objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que prevê em tempo real os parâmetros de processo que não podem ser medidos diretamente, por exemplo, perfis de composição química e temperatura de pelotas e gases dentro do forno, ao longo do comprimento total e altura do forno.

[00019] Mais um objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que prevê em tempo real os parâmetros de qualidade de pelota queimada incluindo resistência compressiva fria, índice de tombo e índice de abrasão, que não podem ser medidos diretamente.

[00020] Ainda mais um objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que reduza o consumo de combustível pelo forno.

[00021] Ainda mais um objetivo da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que provê continuamente em tempo real as condições térmicas dentro do forno, um fator crítico que tem impacto forte sobre a qualidade de pelota queimada.

[00022] Um objetivo adicional da presente invenção é fornecer um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que reduz os custos de produção e operação gerais do processo de endurecimento.

Sumário da Invenção

[00023] De acordo com a presente invenção, é fornecido um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento, o sistema compreendendo:

[00024] Meio interativo para monitorar e controlar o forno para fornecer uma operação otimizada de forno, o meio interativo selecionado de um grupo que consiste de um controlador de lógica programável (PLC), um sistema de controle distribuído (DCS), e um sistema de aquisição de dados e controle de supervisão (SCADA), o meio interativo

adaptado para comunicar-se com o forno, para recuperar, em tempo real, dados de processo on-line, e adaptado para enviar, em tempo real, os dados de processo online para processamento, e receber no mesmo um sinal de otimização, a ser comunicado ao forno, para alterar pelo menos uma condição de processo do forno;

[00025] Meio de calibragem para gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para fins de validação, o meio de calibragem compreendendo um sistema de informações de laboratório para receber informações de processo referentes ao forno, as ditas informações de processo sendo pelo menos uma selecionada de um grupo que consiste em parâmetros de qualidade de pelota queimada, características físicas do minério de ferro, características químicas do minério de ferro, características físicas do combustível (carvão ou coque), características químicas do combustível (carvão ou coque), características físicas do fluxo (calcário), e características químicas do fluxo (calcário), e adaptado para processar as informações para gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para calibrar o forno a fim de operar em um nível otimizado; e

[00026] Uma unidade de processamento adaptada para executar otimização em tempo real, a unidade de processamento adaptada para receber, em tempo real, os dados de processo on-line e a pluralidade de pontos de ajuste ideais, e compreendendo: meio computacional configurado para computar uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, utilizando os dados de

processo on-line; meio de corroboração configurado para casar pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real com um ponto de ajuste ideal correspondente; meio de alerta configurado para gerar um sinal, para otimização de pelo menos uma condição de processo, se pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real não casar com o ponto de ajuste ideal correspondente; meio de otimização configurado para, ao receber o sinal do meio de alerta, gerar pelo menos um sinal de otimização, que é comunicado ao meio interativo, para otimizar a operação do forno.

[00027] Tipicamente, de acordo com a presente invenção, a unidade de processamento compreende meio receptor para receber os dados de processo online a partir do meio interativo e a pluralidade de pontos de ajuste ideais do meio de calibragem.

[00028] Preferivelmente, de acordo com a presente invenção, a unidade de processamento compreende um repositório central para armazenar os dados de processo online, a pluralidade de pontos de ajuste ideais, a pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, e o sinal de otimização, por uma duração predeterminada.

[00029] De acordo com a presente invenção, o meio computacional é adicionalmente adaptado para computar, utilizando os dados de processo online, os parâmetros de processo diretamente imensuráveis incluindo o perfil térmico de pelotas e fluxos de gás, o perfil de composição de pelotas e fluxos de gás, queda de pressão dos fluxos de gás, perfil de secagem de umidade de pelota, perfil de

combustão de carvão ou coque e perfil de calcinação de calcário através de várias seções do forno, e parâmetros de qualidade de pelota queimada, incluindo, resistência compressiva fria, índice de tombo e índice de abrasão.

[00030] Preferivelmente, de acordo com a presente invenção, a unidade de processamento inclui meio de saída adaptado para transmitir o sinal de otimização para o meio interativo e repositório central.

[00031] Tipicamente, de acordo com a presente invenção, um módulo de exibição é fornecido entre o meio interativo e a unidade de processamento.

[00032] Preferivelmente, de acordo com a presente invenção, os dados de processo on-line e as informações de processo compreendem dimensões de várias seções do forno, propriedades de pelota de minério de ferro úmido como distribuição de tamanho de partícula, composição química, teor de umidade, e distribuições de tamanho de partícula de carvão/coque e calcário, temperatura de fluxo de gás, composição química, teor de umidade, taxa de fluxo e pressão, altura de leito, velocidade de grade e detalhes da camada de cadinho.

[00033] De acordo com a presente invenção, é fornecido um método para otimizar a operação de um forno de endurecimento utilizado para produzir pelotas de minério de ferro, o método compreendendo as etapas de:

[00034] - Gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais, para fins de validação, por processar informações de processo referentes ao forno selecionado de um grupo que consiste em parâmetros de qualidade de pelota queimada e

características físicas e químicas do minério de ferro, combustível (carvão ou coque) e fluxo (calcário), no meio de calibragem tendo um sistema de informações de laboratório;

[00035] - Recuperar, em tempo real, os dados de processo online, através dos meios interativos selecionados de um grupo que consiste em um controlador de lógica programável, um sistema de controle distribuído e um sistema de aquisição de dados e controle de supervisão em que os meios interativos são fornecidos em comunicação com o forno para monitoração em tempo real e controle do forno, para fornecer uma operação otimizada de forno;

[00036] Transmitir os dados de processo online e a pluralidade de pontos de ajuste ideais para uma unidade de processamento para otimização em tempo real;

[00037] Computar uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real por processar os dados de processo online em meio computacional da unidade de processamento;

[00038] Casar pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real com um ponto de ajuste ideal correspondente em meio de corroboração da unidade de processamento;

[00039] Sinalizar para otimização um meio de alerta da unidade de processamento, se pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real não casar com o ponto de ajuste ideal correspondente;

[00040] Gerar pelo menos um sinal de otimização no meio de otimização da unidade de processamento, para altear pelo menos uma condição de processo do forno; e

[00041] Comunicar o sinal de otimização ao meio interativo para otimizar a operação do forno, em tempo real.

[00042] Tipicamente, de acordo com a presente invenção o método para otimizar a operação de um forno de endurecimento inclui a etapa de armazenar os dados de processo online, a pluralidade de pontos de ajuste ideais, a pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, e o sinal de otimização em um repositório central.

[00043] Preferivelmente, de acordo com a presente invenção, o método para otimizar a operação de um forno de endurecimento inclui a etapa de transmitir o sinal de otimização manual ou automaticamente para o meio interativo.

[00044] Tipicamente, de acordo com a presente invenção, o método para otimizar a operação de um forno de endurecimento inclui a etapa de fazer interface da unidade de processamento com o forno através do meio interativo.

[00045] De acordo com a presente invenção, o método para otimizar a operação de um forno de endurecimento inclui a etapa de obter uma análise detalhada do processo no modo off-line.

[00046] Tipicamente, de acordo com a presente invenção, o método para otimizar a operação de um forno de endurecimento inclui a etapa de otimizar a condição de processo selecionada do grupo que consiste em altura do leito de pelotas, velocidade da grade em movimento, taxa de fluxo dos fluxos de gás de resfriamento, temperatura do gás

de ignição e queda de pressão dos fluxos de gás em várias seções do forno.

[00047] Preferivelmente, de acordo com a presente invenção, o método para otimizar a operação de um forno de endurecimento inclui a etapa de selecionar a pluralidade de pontos de ajuste a partir da taxa de fluxo de pelotas na grade e os parâmetros de qualidade do produto final.

Breve Descrição dos Desenhos

[00048] A invenção será descrita agora com o auxílio dos desenhos em anexo, nos quais:

[00049] A figura 1 ilustra um diagrama esquemático que mostra o sistema de otimização em comunicação com o forno de endurecimento na condição de operação, de acordo com a presente invenção;

[00050] A figura 2 ilustra um diagrama esquemático do sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento na condição de operação, de acordo com a presente invenção;

[00051] A figura 3 ilustra um diagrama esquemático da unidade de processamento do sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento, de acordo com a presente invenção;

[00052] A figura 4 ilustra um diagrama esquemático do modelo do sistema de otimização em comunicação operativa com o processo de endurecimento, de acordo com a presente invenção;

[00053] A figura 5 ilustra um diagrama esquemático do processo de otimização online, de acordo com a presente invenção;

[00054] A figura 6 ilustra um diagrama esquemático que mostra a predição em tempo real dos contornos de temperatura do leito de pelota, de acordo com a presente invenção;

[00055] A figura 7 ilustra uma representação gráfica para validação do sistema de otimização da presente invenção, que mostra uma comparação de temperaturas de câmaras de gás previstas com medições efetivas a partir de um forno de endurecimento industrial, dados como publicados por Thurlby e outros em Intl. J. Mineral Process. 6 (1979) 43 - 64, de acordo com a presente invenção;

[00056] A figura 8 ilustra uma representação gráfica para validação do sistema de otimização da presente invenção, que mostra uma comparação de temperaturas de leito previstos com temperaturas de leito em várias alturas de leito em diferentes câmaras à gás, dados como publicados por Thurlby e outros em Intl. J. Mineral. Process 6 (1979) 43 - 64, de acordo com a presente invenção; e

[00057] A figura 9 ilustra uma representação gráfica para validação do sistema de otimização da presente invenção, que mostra uma comparação de temperaturas de leito previstas com medições efetivas de temperatura de leito dentro de uma unidade de grade de forno em diferentes alturas de leito, dados como publicados por Thurlby e outros em Intl. J. Mineral Process. 6 (1979) 43 - 64, de acordo com a presente invenção.

Descrição Detalhada dos Desenhos

[00058] A invenção será descrita agora com referência aos desenhos em anexo que não limitam o escopo e

âmbito da invenção. A descrição fornecida é simplesmente como exemplo e ilustração.

[00059] A presente invenção contempla um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento. O sistema da presente invenção utiliza um componente de otimização baseado em modelo que é desenvolvido com base em princípios fundamentais de calor e transferência de massa entre as fases de interação dentro do forno, cinética de evaporação e condensação de umidade, cinética das reações químicas para combustão de coque e calcinação de calcário durante a operação, e a taxa de fluxo de fluxos de gás através do leito compactado granular poroso. O sistema da presente invenção monitora a taxa de fluxo das pelotas de minério de ferro no leito compactado granular na grade em movimento do forno, e a taxa de fluxo dos vários fluxos de gás dentro do forno, e prevê a resistência de pelota de minério de ferro e outros parâmetros de qualidade juntamente com a permeabilidade, porosidade, perfil de consumo de carbono, perfil de consumo de calcário e o perfil de secagem de umidade do leito de pelota de minério de ferro em várias seções do forno. Além disso, o sistema da presente invenção prevê os parâmetros de processo diretamente imensuráveis como perfil térmico da fase sólida e a fase de gás dentro do forno em várias seções do forno, perfil de composição das várias espécies químicas dentro do forno para as fases tanto sólida como de gás, e a queda de pressão de fase de gás através das várias zonas do forno.

[00060] Além disso, o sistema da presente invenção prevê o perfil de concentração de umidade, perfil de

concentração de carbono e perfil de concentração de carbonato de cálcio através das dimensões do leito de pelota e permeabilidade do leito poroso sólido. Também prevê as concentrações de oxigênio, dióxido de carbono e umidade na fase de gás ao longo do comprimento e altura do forno. Para essa finalidade, o sistema é automaticamente sintonizado e calibrado utilizando as temperaturas de gás de saída sob o leito. O sistema pode ser utilizado em um modo on-line e um off-line em várias faixas operacionais. No modo on-line, o sistema é feito interface com o forno através de meio interativo que monitora e controla as operações do forno, em tempo real. No modo off-line o sistema pode ser utilizado para análise detalhada e diagnóstico do processo.

[00061] O sistema da presente invenção compreende principalmente: meio interativo fornecido em comunicação com o forno durante a operação para recuperar, em tempo real, os dados de processo on-line, a partir, por exemplo, de um sistema de controle de lógica programável ou de controle distribuído ou um sistema de controle de supervisão ou de aquisição de dados, e um sistema de gerenciamento e informações de laboratório; o referido meio interativo é adaptado para receber no mesmo um sinal de otimização, para alterar uma condição de processo do forno; meio de calibragem que gera uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para fins de validação; uma unidade de processamento que: computa utilizando os dados de processo online uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real em meio computacional, meio de corroboração para casar

pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real com um ponto de ajuste ideal correspondente, meio de alerta que gera um sinal se pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real não casar com o ponto de ajuste ideal correspondente, e meio de otimização que gera um sinal de otimização para alterar pelo menos uma condição de processo do forno; o meio interativo recebe o sinal de otimização, para alterar pelo menos uma condição de processo do forno, que é comunicado ao forno, em tempo real, desse modo aumentando a produtividade enquanto mantém a qualidade de produto em especificações desejáveis. O sistema é dotado de um repositório central para armazenar os dados relacionados a processo para registro diário. Opcionalmente, a unidade de processamento compreende ainda um meio de saída que é fornecido em comunicação com o meio de otimização, para transmitir o sinal de otimização ao meio interativo e ao repositório central.

[00062] O meio computacional contemplado na presente invenção compreende uma pluralidade de modelos tendo um conjunto de equações algébricas e diferenciais parciais não lineares que auxiliam a computar, utilizando os dados de processo online em tempo real, o equilíbrio geral de material e energia da fase de gás e fase sólida, os equilíbrios de material para todas as espécies individuais em cada fase ao longo de todo o comprimento e altura do forno, e a queda de pressão de fase de gás dentro do forno. O meio computacional, com base nos dados de processo online, simula a operação de forno por dividir o leito

compactado granular contendo pelotas de minério de ferro em malhas finas através da dimensão inteira do leito compactado granular. Em cada uma dessas malhas as equações de modelo são resolvidas para estimar o estado geral do processo.

[00063] A figura 1 ilustra um diagrama esquemático que mostra o sistema de otimização da presente invenção em comunicação com um forno de endurecimento de grade reta na condição de operação, o forno representado genericamente pelo numeral de referência 10. O sistema, representado genericamente pelo numeral de referência 12, para otimizar as operações do forno de endurecimento 10, é conectado ao meio interativo (não mostrado na figura 1) compreendendo um controlador de lógica programável (PLC) ou um sistema de controle distribuído (DCS) ou um sistema de controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA) que por sua vez controla as condições de processo do forno de endurecimento 10.

[00064] Tipicamente, o forno de endurecimento de grade reta 10 consiste em sete zonas incluindo uma zona de secagem ascendente (UDD), uma zona de secagem descendente (DDD), uma zona de pré-aquecimento (PHZ), uma zona de ignição (IGN), uma zona após queima (AFZ), uma primeira zona de resfriamento (CZ1) e uma segunda zona de resfriamento (CZ2). Pelotas de minério de ferro úmidas são colocadas na grade em movimento do forno de endurecimento 10 na forma de um leito compactado granular. Quando a grade em movimento está em operação, as pelotas de minério de ferro úmidas entram na zona UDD do forno de endurecimento

10 e são submetidas a um gás quente para secagem das pelotas úmidas nas zonas UDD e DDD. As pelotas de minério de ferro úmidas são secas em um modo de secagem ascendente na fase de secagem inicial na UDD e um modo de secagem descendente na segunda fase de secagem na DDD. Uma quantidade significativa de água contida nas pelotas de minério de ferro úmidos é evaporada nas zonas UDD e DDD. A partir da segunda zona de secagem DDD, o leito compactado granular de pelotas de minério de ferro secas entra na PHZ do forno de endurecimento 10 onde o processo de sinterização ou queima tem início. O processo de sinterização é acelerado nas zonas IGN e AFZ pelo calor emitido a partir de um queimador representado genericamente por 20.

[00065] O calor a partir do queimador 20 entra no forno de endurecimento 10 na zona IGN. Após queima, as pelotas de minério de ferro são enviadas às zonas de resfriamento (CZ1 e CZ2) para resfriar as pelotas a uma temperatura de manipulação desejável.

[00066] O fluxo de ar de resfriamento 26 entra no forno de endurecimento 10 na zona de resfriamento CZ1 e passa através do leito de pelota de minério de ferro. O fluxo 26 que sai da zona de resfriamento CZ1 tem uma temperatura média, tipicamente, de 1000°C. O fluxo 26 é então distribuído e é puxado para baixo através do leito compactado granular de pelotas de minério de ferro nas zonas PHZ, IGN e AFZ utilizando um soprador. A zona IGN é adicionalmente dotada de calor adicional a partir dos queimadores 20, desse modo elevando a temperatura do fluxo

de gás novo até aproximadamente 1200°C a 1300°C. O fluxo de gás 26 a partir das zonas de queima PHZ, IGN e AFZ é recuperado e utilizado na zona de secagem descendente DDD para a segunda fase de secagem. O fluxo de gás de descarga 28 é descarregado a partir da DDD.

[00067] Outro fluxo de ar de resfriamento 27 que entra no forno de endurecimento 10 passa ascendente através da segunda zona de resfriamento CZ2. O fluxo de gás de descarga 11 a partir de CZ2 é adicionalmente reciclado para a UDD para a fase de secagem inicial. O fluxo de gás de descarga 30 é descarregado a partir da UDD.

[00068] O sistema 12 recebe informações referentes a propriedades de pelota de minério de ferro úmida incluindo distribuição de tamanho de pelota (PSD) e composição de pelota úmida (coletivamente representado na figura 1 por 14), e qualidade de pelota representada genericamente por 22. A partir dos dados fornecidos, o sistema 12 gera uma saída que fornece a altura apropriada do leito de pelota de minério de ferro 16 entrando no forno de endurecimento 10, em cuja velocidade ótima a grade em movimento deve ser operada 18, taxa de fluxo dos fluxos de gás de resfriamento 26 e 27, e perfil de temperatura do gás de ignição que entra em 20. Essa saída a partir do sistema 12 ajuda a maximizar a produção 24 sem comprometer a qualidade desejada de produto 22. O sistema 12 é dotado de meio para prever, em tempo real, a resistência e a qualidade das pelotas de minério de ferro queimadas produzidas pelo forno 10. Desse modo, o sistema 12 provê meio direto para monitorar a qualidade do produto final produzido. Além

disso, no caso de qualidade do produto final não atender aos padrões especificados, as condições de processo do forno são alteradas, em tempo real, desse modo poupando tempo e energia.

[00069] A figura 2 ilustra um diagrama esquemático do sistema 12 em configuração operativa com o forno de endurecimento 10. O meio interativo, mencionado pelo numeral 66, compreende um controlador de lógica programável (PLC) ou um sistema de controle distribuído (DCS) ou um sistema de controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA), que permite ao sistema 12 ser interfaceado com o forno 10 durante a operação para recuperar continuamente, em tempo real, os dados de processo online. O meio interativo 66 monitora e controla a operação do forno para fornecer uma operação de forno otimizada. As informações de processo em relação à operação a ser realizada no forno 10, são recebidas pelo meio de calibragem, mencionado pelo numeral 62, que compreende um sistema de informações de laboratório, recebe e processa no mesmo as informações de processo relacionadas ao forno 10, e gera uma pluralidade de pontos de ajuste ideais, que são utilizados para fins de validação. A pluralidade de pontos de ajuste ideais gerados pelo meio de calibragem 62 leva em consideração a qualidade final desejada de pelota, propriedades físicas e químicas de minérios de ferro, combustível (carvão ou coque), fluxo (calcário) e aglutinante (bentonita) para calibrar o forno para operar em um nível otimizado.

[00070] Os dados de processo online recuperados pelo meio interativo 66 são fornecidos à unidade de

processamento, representada pelo numeral 60, através da linha 70, para processamento. O meio interativo 66 é diretamente conectado ao forno 10 para, em tempo real, monitorar as condições de operação dentro do forno 10. Esses detalhes de processo são emitidos para a unidade de processamento 60. A unidade de processamento 60 também recebe a pluralidade de pontos de ajuste ideais a partir do meio de calibragem 62. Na unidade de processamento 62 por utilizar os dados de processo online, computa uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, que são temporariamente armazenados no meio de calibragem 62. Na unidade de processamento 60, a pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real é casada com os pontos de ajuste ideais correspondentes, para determinar se a otimização é necessária para manter a qualidade desejada de produto. No caso quando a otimização é necessária, um sinal de otimização para alterar pelo menos uma condição de processo do forno 10, é gerada, que é comunicada com o meio interativo 66, visto em referência na figura 2. O sinal de otimização pode ser manual ou automaticamente transmitido para o meio interativo 66. Opcionalmente, um módulo de exibição, representado pelo numeral 64, pode ser fornecido entre a unidade de processamento 60 e o meio interativo 66, em que o sinal de otimização é transmitido para o meio interativo 66 através do módulo de exibição 64. O sinal de otimização para alterar pelo menos uma condição de processo do forno 10, é então comunicada ao forno 10, pelo meio interativo 66, de modo a otimizar as condições de operação,

e desse modo otimizar a produtividade sem prejudicar a qualidade final do produto.

[00071] De acordo com uma modalidade preferida da presente invenção, o sistema 12 pode ser utilizado em um modo on-line bem como off-line para as várias faixas operacionais. No modo on-line, o sistema 12 é interfaceado com o forno de endurecimento 10 através do meio interativo 66. Enquanto, no modo off-line o sistema 12 é utilizado para análise detalhada do processo. O sistema 12 também provê controle on-line do processo.

[00072] A figura 3 ilustra um diagrama esquemático da unidade de processamento 60 do sistema 12 da presente invenção. A unidade de processamento 60 compreende tipicamente: meio receptor 72, meio computacional 74, um repositório central 80, meio de corroboração 73, meio de alerta 75, meio de otimização 76 e meio de saída 78.

[00073] A unidade de processamento 60, adaptada para executar otimização em tempo real, comunica-se com o meio interativo 66 e o meio de calibragem 62 para extrair os dados de processo online e a pluralidade de pontos de ajuste ideais. Esses dados são recebidos pelo meio receptor 72, em que os dados de processo online compreendem: detalhes das dimensões de forno, propriedades de pelota de minério de ferro úmida, entradas de fluxo e detalhes de leito compactado granular.

[00074] As dimensões do forno e parâmetros de entrada incluem genericamente:

. comprimento de cada seção de forno, a saber, UDD, DDD, PHZ, IGN AFZ, CZ1 e CZ2;

- . velocidade de grade;
- . número total de câmaras de gás;
- . comprimento de cada câmara ;
- . número de queimadores na fornalha ;
- . localização de queimadores na fornalha; e
- . espaçamento entre queimadores na fornalha;

[00075] As propriedades da pelota de minério de ferro úmida incluem genericamente:

- . distribuição de tamanho de pelota de minério de ferro (PSD);
- . Composição química de pelota de minério de ferro;
- . teor de umidade de pelota de minério de ferro;
- . Composição química e teor de umidade de carvão / coque;
- . composição química e teor de umidade de calcário; e
- . distribuições de tamanho de partícula de carvão / coque e calcário;

[00076] As entradas de fluxo incluem genericamente:

- . taxa de fluxo de pelota de minério de ferro para a grade;
- . temperatura de pelotas de minério de ferro úmidas;
- . pressão, temperaturas e taxa de fluxo de fluxos de gás de entrada; e
- . composição química e teor de umidade de fluxos de gás de entrada.

[00077] Os detalhes de leito compactado granular incluem genericamente:

- . altura total do leito compactado granular;
- . altura da camada de cadinho; e

. distribuição de tamanho de partícula e composição química da camada de cadinho.

[00078] Esses dados de processo em tempo real e a pluralidade de pontos de ajuste ideais, extraídos pelo meio receptor 72, são armazenados no repositório central 80, para registro de dados diários. Esses dados são extraídos pelo meio computacional 74, a partir do repositório central 80, para calcular o rendimento das pelotas de minério de ferro queimadas a partir da grade em movimento do forno de endurecimento 10 e os parâmetros de qualidade das pelotas finais a partir do forno de endurecimento 10, desse modo gera uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real. Adicionalmente, o meio computacional 74 deriva a permeabilidade e o perfil de secagem de umidade do leito de pelota de minério de ferro dentro do forno de endurecimento 10 em várias seções do forno 10, o equilíbrio de material geral e equilíbrio de energia dos fluxos de gás e pelotas de minério de ferro, os equilíbrios de material para todas as espécies individuais em cada fase ao longo do comprimento total e altura do forno de endurecimento 10 e a queda de pressão dos fluxos de gás dentro do forno 10.

[00079] O meio computacional 74 pelo processamento, em tempo real, dos dados de processo online, prevê os parâmetros de processo diretamente imensuráveis como perfil térmico das pelotas de minério de ferro e fluxos de gás dentro do forno de endurecimento 10 em várias seções do forno 10, perfil de composição das várias espécies químicas dentro do forno de endurecimento 10, e a queda de pressão dos fluxos de gás através das várias zonas do forno de

endurecimento 10. O meio computacional 74 prevê ainda o perfil de concentração de umidade, perfil de concentração de carbono e perfil de concentração de carbonato de cálcio através das dimensões do leito compactado granular de pelota de minério de ferro na grade em movimento do forno de endurecimento 10. O meio computacional 74 também prevê as concentrações de oxigênio, dióxido de carbono e umidade na fase de gás ao longo do comprimento e altura do forno de endurecimento 10.

[00080] A pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real e a pluralidade de pontos de ajuste ideais são recebidas no meio de corroboração 73, em que o meio de corroboração é configurado para casar pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real com um ponto de ajuste ideal correspondente, para verificar se o forno está operando adequadamente. Se pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real não casar com o ponto de ajuste ideal correspondente, os dados são passados para o meio de alerta 75. O meio de alerta 75 gera um sinal para otimização da operação de forno. Esse sinal é recebido no meio de otimização 76 que gera um sinal de otimização, para alterar pelo menos uma condição de processo do forno 10. A condição de processo a ser otimizada é selecionada entre: altura do leito de pelota, velocidade da grade em movimento, taxa de fluxo dos fluxos de gás de resfriamento, temperatura do gás de ignição e queda de pressão dos fluxos de gás. O sinal de otimização é transmitido para o meio interativo 66 e o repositório central 80 através do meio de saída 78. O meio interativo

66 recebe o sinal de otimização e desse modo otimiza a operação do forno, em tempo real.

[00081] Na figura 4, é mostrado um diagrama esquemático do modelo do sistema de otimização em comunicação operativa com o processo de endurecimento, representado na figura 4 pelo numeral 100. O meio computacional 74 compreende um modelo de processo de endurecimento 102, um modelo de permeabilidade 104, e um modelo de qualidade 116, que são modelos matemáticos com base nos princípios fundamentais de equilíbrios de energia e material, cinética de reação das reações químicas que ocorrem dentro do forno 10, e fluxo de gases através de leito compactado granular poroso. Os modelos utilizam um conjunto de equações algébricas e diferenciais parciais não lineares para computar o equilíbrio de material geral e equilíbrio de energia dos fluxos de gás e as pelotas de minério de ferro, os equilíbrios de material para todas as espécies individuais em cada fase ao longo do comprimento total do forno 10 e a queda de pressão em fluxos de gás dentro do forno 10. O modelo de endurecimento 102, o modelo de permeabilidade 104, e o modelo de qualidade 116 recebem informações de processo, em relação à operação a ser realizada no forno 10, incluindo altura de leito, e queda de pressão (referenciado em 106), temperatura de fornalha, velocidade de grade, taxas de fluxo de gás (referenciado em 108), detalhes de composição química de pelota e propriedades físicas de minério de ferro, combustível (carvão / coque) e fluxo (calcário) (referenciado em 110), variáveis medidas de processo (referenciado em 120),

propriedades de gás e distribuição de tamanho de pelota (referenciado em 112), velocidade de gás (referenciado em 114). Os modelos prevêem os parâmetros de qualidade (referenciado em 126) e temperatura de burn-through (referenciado em 122) que são enviados para o meio de otimização, representado na figura 4 pelo numeral 118, para gerar o sinal de otimização 128 que é enviado ao forno 10, em que o sinal de otimização inclui alterar condições de processo do forno 10 incluindo altura de leito, velocidade de grade, taxa de fluxo de gás de resfriamento, perfil de temperatura de fornalha e queda de pressão de fase de gás em diferentes seções do forno.

[00082] Os modelos, como ilustrado na figura 4, também compreendem um conjunto de subunidades. O conjunto de subunidades computa dados que devem ser enviados aos modelos para gerar a medição em tempo real das propriedades de leito de pelota de minério de ferro e as propriedades de fase de gás.

[00083] O conjunto de subunidades compreende o que se segue:

- . uma unidade de computação de transferência de calor que computa o equilíbrio de energia geral dos fluxos de gás e as pelotas de minério de ferro utilizando um conjunto de equações diferenciais parciais para estimar os detalhes de transferência de calor durante a operação;

- . uma unidade de computação de transferência de massa que computa o equilíbrio geral de material dos fluxos de gás e as pelotas de minério de ferro e equilíbrios de material de espécie química individual na fase de gás e

pelotas, utilizando um conjunto de equações diferenciais parciais para estimar os detalhes de transferência de massa durante a operação;

- . uma unidade de computação de cinética de reação que avalia a cinética de reação de todas as reações químicas que ocorrem durante a operação (combustão de carvão ou coque e calcinação de calcário); e

- . uma unidade computacional de fusão de pelota que estima o perfil de fusão de pelota de minério de ferro durante a operação;

[00084] A estimativa em tempo real das propriedades de leito de pelota de minério de ferro inclui:

- . o perfil de temperatura de leito de pelota de minério de ferro; e

- . perfil de composição de leito de pelota de minério de ferro;

[00085] A estimativa em tempo real das propriedades de fase de gás incluindo:

- . taxa de fluxo, pressão, temperatura e composição química dos gases de saída;

- . perfis de pressão e velocidade da fase de gás por todo o forno;

- . perfil de temperatura da fase de gás em todo o forno;

e

- . o perfil de composição química da fase de gás em todo o forno.

[00086] A saída gerada pelos modelos do meio de computação 74 também é armazenada no repositório central 80 para registro de dados diários.

[00087] Com referência à figura 5, é mostrado um diagrama esquemático do sistema de otimização online, em que os dados de processo em tempo real e medições de laboratório são recebidos no banco de dados em tempo real do sistema de otimização da presente invenção. As informações são recebidas pelos modelos de processo para processamento e sensores de software para determinar parâmetros de processo diretamente imensuráveis, e finalmente para otimização em que os pontos de ajuste ótimos são comunicados ao PLC/DCS/SCADA em tempo real.

[00088] A figura 6 ilustra um diagrama esquemático que mostra a previsão em tempo real dos contornos de temperatura de leito de pelota através de várias zonas do forno 10 utilizando o sistema 12 da presente invenção. As figuras 7, 8 e 9 mostram uma representação gráfica para validação do sistema de otimização 12 da presente invenção, por comparar os dados simulados, relacionando a temperaturas de câmara de gás, temperaturas de leito em várias alturas de leito, e temperaturas de leito ao longo do comprimento da grade, com medições efetivas obtidas a partir de um forno de endurecimento industrial e um forno de grade de laboratório por Thurlby e outros, conforme os dados publicados em Intl. J. Mineral Process. 6 (1979) 43 - 64. A partir das figuras 7, 8 e 9, entende-se que os dados simulados, obtidos utilizando os modelos de processo da presente invenção, para obter os parâmetros de processo diretamente imensuráveis, são adequadamente precisos.

Vantagens Técnicas da Invenção

[00089] Um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento utilizado para a produção de pelotas de minério de ferro, como revelado na presente invenção, tem várias vantagens técnicas incluindo, porém não limitado à, realização de:

. um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que aumenta a produtividade de forno por interação em tempo real;

. um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que monitora continuamente e controla a operação do forno de endurecimento através de um meio interativo, desse modo fornecendo uma qualidade de produto consistente;

. um sistema para prever a porosidade e permeabilidade do leito compactado granular;

. um sistema para prever os parâmetros de qualidade de pelota queimada, incluindo resistência compressiva fria, índice de tombo e índice de abrasão, que não podem ser medidos diretamente *on-line*;

. um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que prevê em tempo real os parâmetros de processo diretamente imensuráveis como o perfil térmico da fase sólida e a fase de gás dentro do forno em várias seções do forno, perfil de composição das várias espécies químicas dentro do forno para as fases tanto sólida como gasosa, e a queda de pressão de fase gasosa através de várias zonas do forno;

. um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que reduz consumo de combustível pelo forno;

. um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que monitora continuamente, em tempo real, as condições térmicas dentro do forno; e

. um sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento que reduz os custos gerais de operação e produção do processo de endurecimento.

[00090] Os valores numéricos mencionados para os vários parâmetros físicos, dimensões ou quantidades são somente aproximações e é considerado que os valores mais elevados/mais baixos do que os valores numéricos atribuídos aos parâmetros, dimensões ou quantidades estejam compreendidos no escopo da invenção, a menos que haja uma instrução no relatório descritivo específica ao contrário.

[00091] Em vista da ampla variedade de modalidades às quais os princípios da presente invenção podem ser aplicadas, deve ser entendido que as modalidades ilustradas são somente exemplares. Embora ênfase considerável tenha sido colocada aqui em características específicas da presente invenção, será reconhecido que várias modificações podem ser feitas, e que muitas alterações podem ser feitas nas modalidades preferidas sem se afastar do princípio da invenção. Essas e outras modificações na natureza da invenção ou modalidades preferidas serão evidentes para aqueles versados na técnica a partir da divulgação aqui, pelo que deve ser distintamente entendido que a matéria descritiva acima deve ser interpretada meramente como ilustrativa da invenção e não como limitação.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para otimizar a operação de um forno de endurecimento (10), o sistema compreendendo:

- o referido forno de endurecimento (10);
- meio interativo (66) para monitorar e controlar o forno (10) usando um algoritmo de otimização previsível online não linear para prever as condições internas do forno (10) e otimizar as variáveis manipuladas correspondentes à operação do forno para fornecer uma operação otimizada de forno, o referido meio interativo selecionado de um grupo que consiste em um controlador de lógica programável (PLC), um sistema de controle distribuído (DCS), e um sistema de aquisição de dados e controle de supervisão (SCADA), e um sistema de informações de laboratório (LIS), o referido meio interativo (66) adaptado para comunicar-se com o forno (10), para recuperar, em tempo real, dados de processo online, e adaptado para enviar, em tempo real, os dados de processo online para processamento, e para receber no mesmo um sinal de otimização, a ser comunicado ao forno (10), para alterar pelo menos uma condição de processo do forno (10);

- meio de calibragem (62) para simulação de endurecimento de pelotas de minério de ferro dentro de um forno (10) em movimento para gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para fins de validação, e gerar um conjunto de pontos de ajuste ideais após a calibração usando um modelo matemático de endurecimento, os parâmetros do modelo de forno (10) sendo manipulados durante a calibração para fazer com que o forno (10) trabalhe a um

nível otimizado, o referido meio de calibragem **caracterizado pelo** fato de que compreende um sistema de informações de laboratório para receber informações de processo referentes ao forno, as referidas informações de processo sendo pelo menos uma selecionada de um grupo que consiste em parâmetros de qualidade de pelota queimada, características físicas do minério de ferro, características químicas do minério de ferro, características físicas do combustível (carvão ou coque), características químicas do combustível (carvão ou coque), características físicas do fluxo (calcário), e características químicas do fluxo (calcário), dados correspondentes às condições de operação do forno de endurecimento e dados correspondentes às dimensões e configurações do forno de endurecimento com relação ao reciclo de gases de descarga e adaptado para processar as informações para gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para calibrar o forno (10) a fim de operar em um nível otimizado e definir uma pluralidade de pontos de ajuste ideais para calibrar a operação de um forno (10) com base em informações de processo selecionadas do grupo; e

- uma unidade de processamento (60) adaptada para comparar pelo menos um ponto de ajuste em tempo real calculado com base nos dados de processo online derivados do forno (10), os dados obtidos a partir do sistema de informações de laboratório, dados correspondentes às condições de operação do forno de endurecimento (10) e dados correspondentes às dimensões e configurações do forno de endurecimento (10) com relação ao reciclo de gases de

descarga com pelo menos um dentre a pluralidade de pontos de ajuste ideais para realizar otimização de processo em tempo real com base em restrições em parâmetros de qualidade/processo do produto final, características de matérias-primas usadas, condições de processo do forno de endurecimento, dimensões do forno de endurecimento e configuração com relação ao reciclo de gases de descarga, a referida unidade de processamento (60) adaptada para receber, em tempo real, os dados de processo online e a pluralidade de pontos de ajuste ideais, e compreendendo: meio computacional (74) configurado para computar uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, utilizando os dados de processo online e dados de análises de laboratório obtidos a partir do sistema de informações de laboratório; meio de corroboração (73) configurado para casar pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real com um ponto de ajuste ideal correspondente; meio de alerta (75) configurado para gerar um sinal, para otimização de pelo menos uma condição de processo, se pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real não casar com o ponto de ajuste ideal correspondente; meio de otimização (76) configurado para, ao receber o sinal do meio de alerta (75), gerar pelo menos um sinal de otimização, com base no processamento do tempo real, dos dados de processo online, nos dados obtidos a partir do sistema de informação de laboratório e nos dados correspondentes a dimensões e configurações do forno de endurecimento (10), para alterar pelo menos uma condição

de processo do forno, que é comunicado ao referido meio interativo (66), para otimizar a operação do forno (10).

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a referida unidade de processamento (60) compreende meio receptor (72) para receber os dados de processo online a partir do referido meio interativo (66) e a pluralidade de pontos de ajuste ideais do meio de calibragem (62).

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a unidade de processamento (60) compreende um repositório central (80) para armazenar os dados de processo online, dados obtidos a partir do sistema de informações de laboratório, dados gerados pelo meio computacional (74), a pluralidade de pontos de ajuste ideais, a pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, e o sinal de otimização, por uma duração predeterminada.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o meio computacional (74) é adicionalmente adaptado para computar, utilizando os dados de processo online, e os dados obtidos a partir do sistema de informações de laboratório, os parâmetros de processo diretamente imensuráveis incluindo o perfil térmico de pelotas e fluxos de gás, o perfil de composição química de pelotas e fluxos de gás, queda de pressão dos fluxos de gás, perfil de secagem de umidade de pelota, perfil de combustão de carvão ou coque e perfil de calcinação de calcário através de várias seções do forno (10), e parâmetros de qualidade de pelota queimada, incluindo

resistência compressiva fria, índice de tambor e índice de abrasão, com relação ao tempo.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a unidade de processamento (60) inclui meio de saída (78) adaptado para transmitir o sinal de otimização para o referido meio interativo e o referido repositório central.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que um módulo de exibição é fornecido entre o meio interativo (66) e a unidade de processamento (60).

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que os dados de processo online e as informações de processo compreendem dimensões de várias seções do forno (10), propriedades de pelota de minério de ferro úmida tais como distribuição de tamanho de partícula, composição química, teor de umidade, e distribuições de tamanho de partícula de carvão/coque e calcário, temperatura de fluxo de gás, composição química, teor de umidade, taxa de fluxo e pressão, altura de leito, velocidade de grade e detalhes da camada de cadinho.

8. Método para otimizar a operação de um forno de endurecimento (10) utilizado para produzir pelotas de minério de ferro, compreendendo as etapas de:

- gerar uma pluralidade de pontos de ajuste ideais, para fins de validação, por processar informações de processo referentes ao forno (10) selecionado de um grupo que consiste em parâmetros de qualidade de pelota queimada e características físicas e químicas do minério de ferro,

combustível (carvão ou coque) e fluxo (calcário), no meio de calibragem (62) tendo um sistema de informações de laboratório;

- recuperar, em tempo real, os dados de processo online, através dos meios interativos (66) selecionados de um grupo que consiste em um controlador de lógica programável, um sistema de controle distribuído, um sistema de informações de laboratório, e um sistema de aquisição de dados e controle de supervisão, em que os referidos meios interativos (66) são fornecidos em comunicação com o forno (10) para monitoração em tempo real e controle do forno (10), para fornecer uma operação otimizada de forno;

caracterizado pelo fato de que o referido método compreende:

- transmitir os dados de processo online, dados de análises de laboratório obtidos a partir do sistema de informações de laboratório, e a pluralidade de pontos de ajuste ideais para uma unidade de processamento para otimização em tempo real;

- computar uma pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real processando os dados de processo online e os dados analisados de laboratório em meio computacional (74) da referida unidade de processamento (60);

- casar pelo menos um da pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real com um ponto de ajuste ideal correspondente em meio de corroboração (73) da referida unidade de processamento (60);

- sinalizar para otimização em meio de alerta (75) da referida unidade de processamento (60), se pelo menos um da

pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real não casar com o ponto de ajuste ideal correspondente;

- gerar pelo menos um sinal de otimização no meio de otimização (76) da unidade de processamento (60), para altear pelo menos uma condição de processo do forno (10); e

- comunicar o sinal de otimização ao meio interativo (66) para otimizar a operação do forno (10), em tempo real.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo** fato de incluir a etapa de armazenar os dados de processo online, dados obtidos a partir do sistema de informações de laboratório, dados gerados pelo meio computacional (74), a pluralidade de pontos de ajuste ideais, a pluralidade de pontos de ajuste ativos em tempo real, e o sinal de otimização em um repositório central (80).

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo** fato de incluir a etapa de transmitir o sinal de otimização manual ou automaticamente para o referido meio interativo (66).

11. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo** fato de incluir a etapa de fazer interface da unidade de processamento (60) com o forno (10) através do meio interativo (66).

12. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo** fato de incluir a etapa de obter uma análise detalhada do processo no modo off-line.

13. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo** fato de incluir a etapa de otimizar a condição de processo selecionada do grupo que consiste em

altura do leito de pelota (16), velocidade da grelha em movimento, taxa de fluxo dos fluxos de gás de resfriamento (26, 27), temperatura do gás de ignição e queda de pressão dos fluxos de gás em várias seções do forno (10).

14. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo** fato de incluir a etapa de selecionar a pluralidade de pontos de ajuste a partir da taxa de fluxo de pelotas na grelha e os parâmetros de qualidade do produto final.

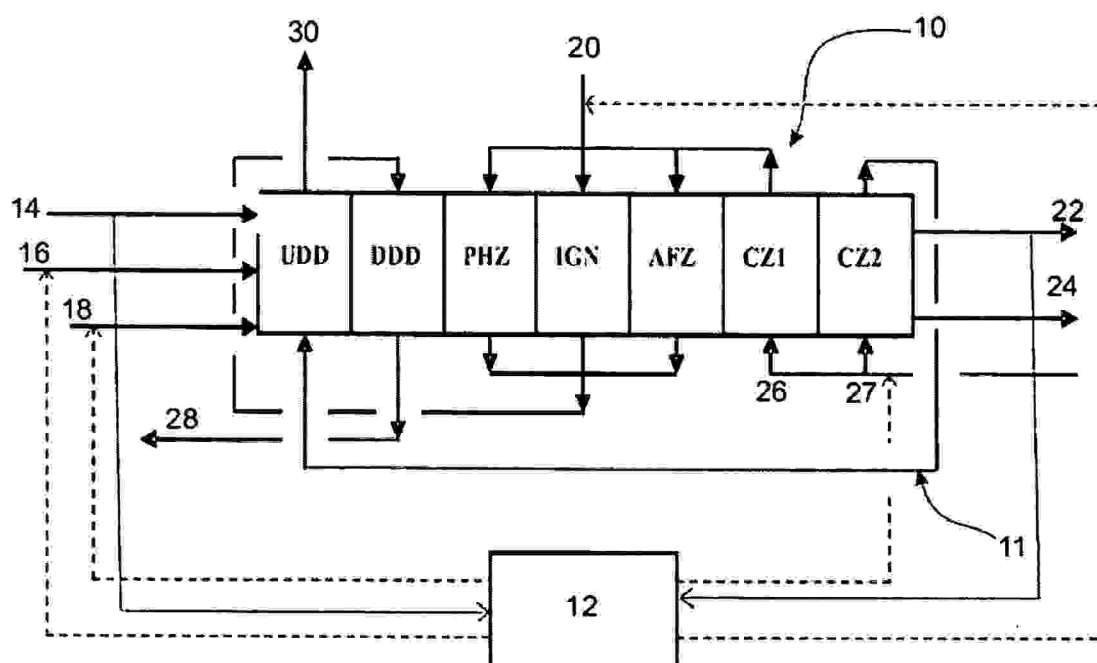


FIGURA 1

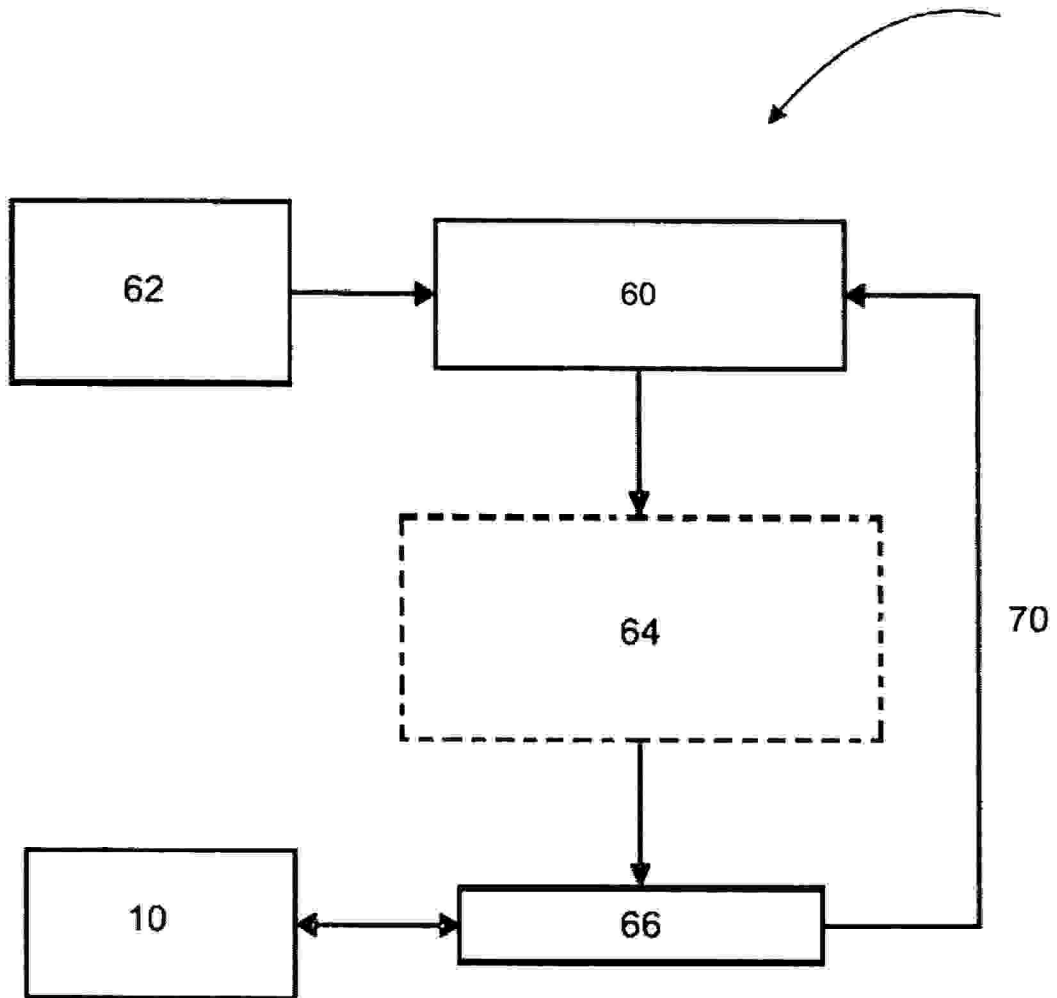


FIGURA 2

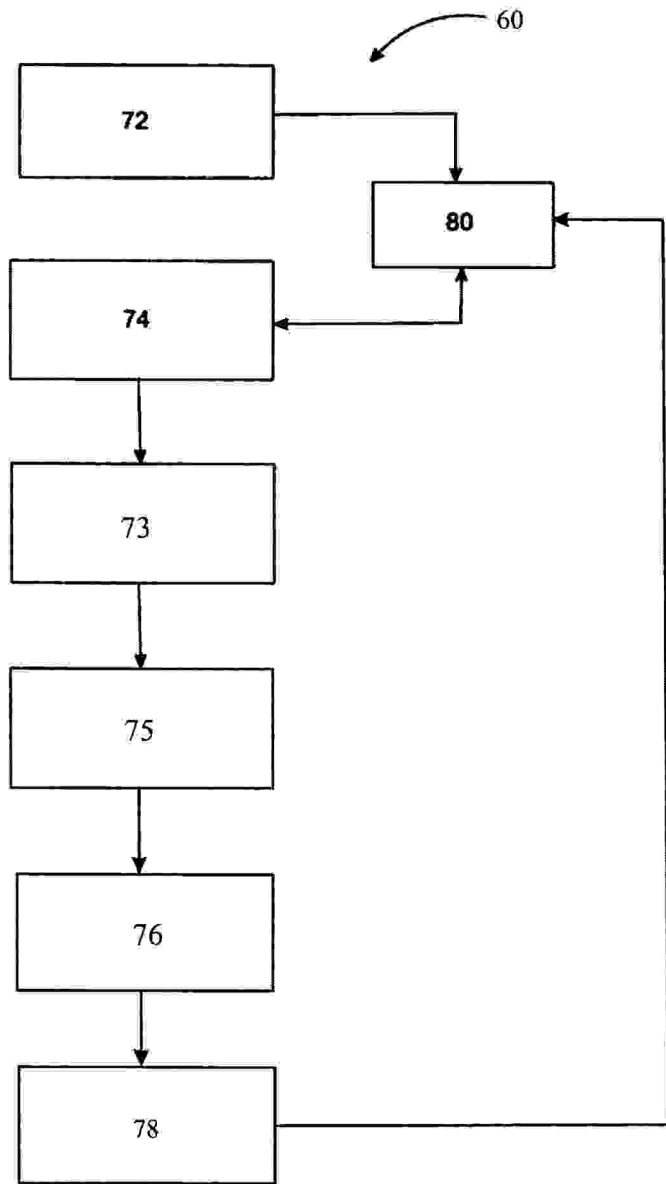


FIGURA 3

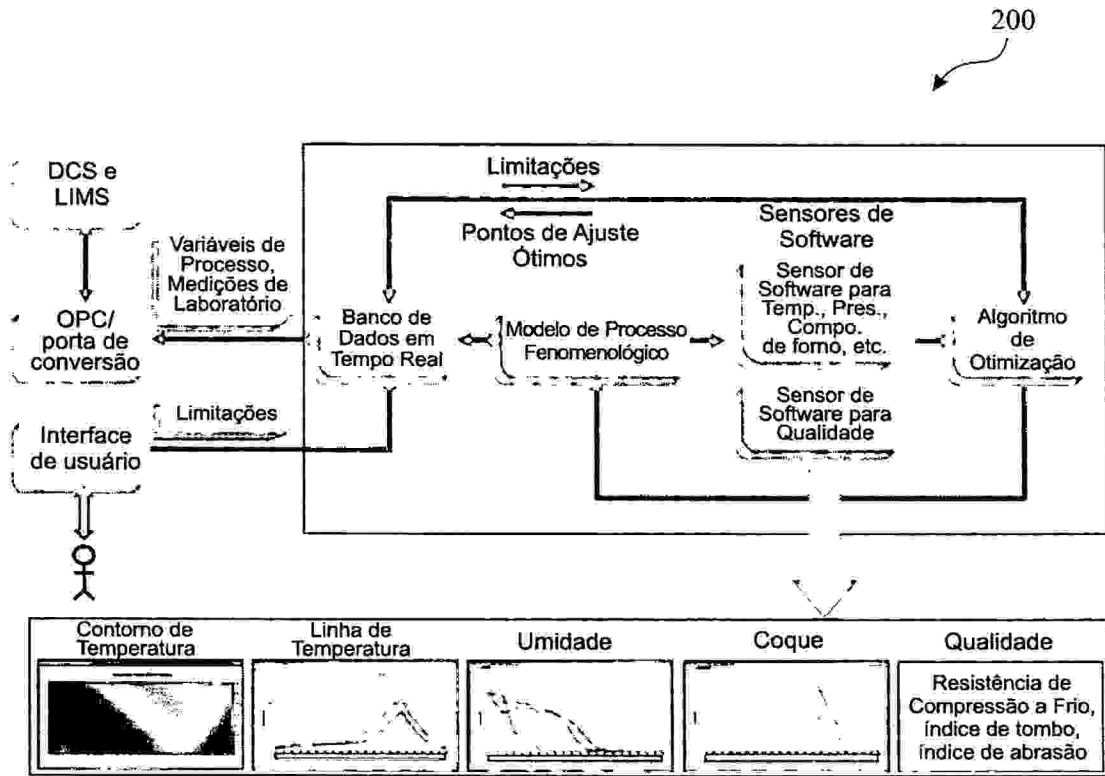


FIGURA 5

300

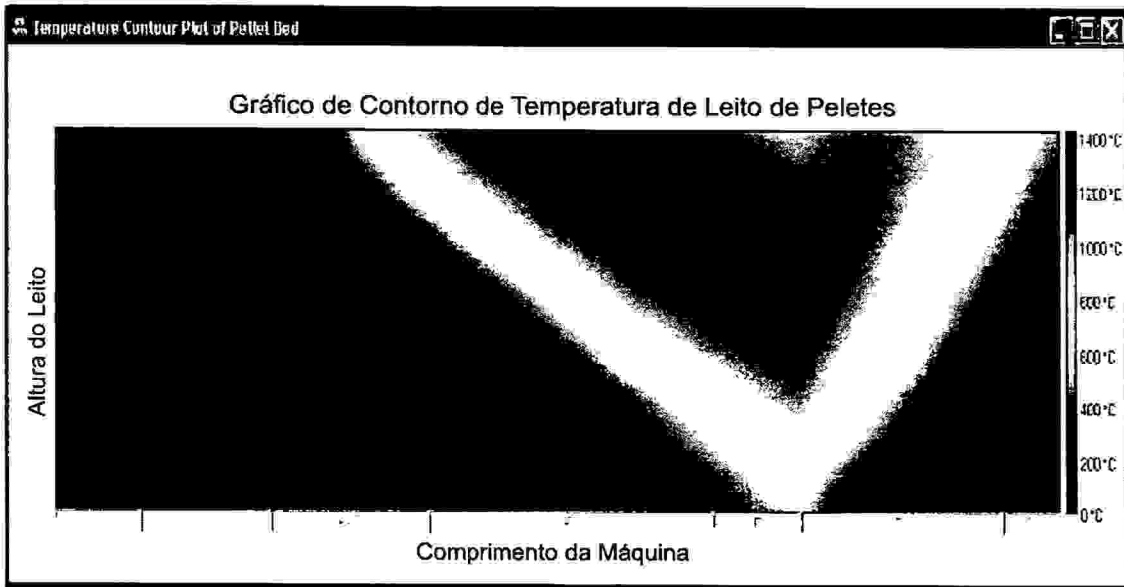


FIGURA 6

400

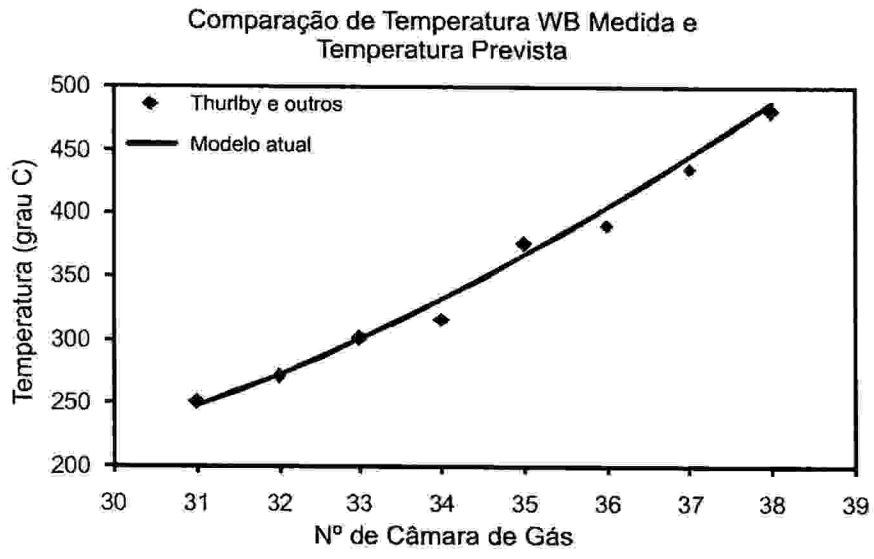


FIGURA 7

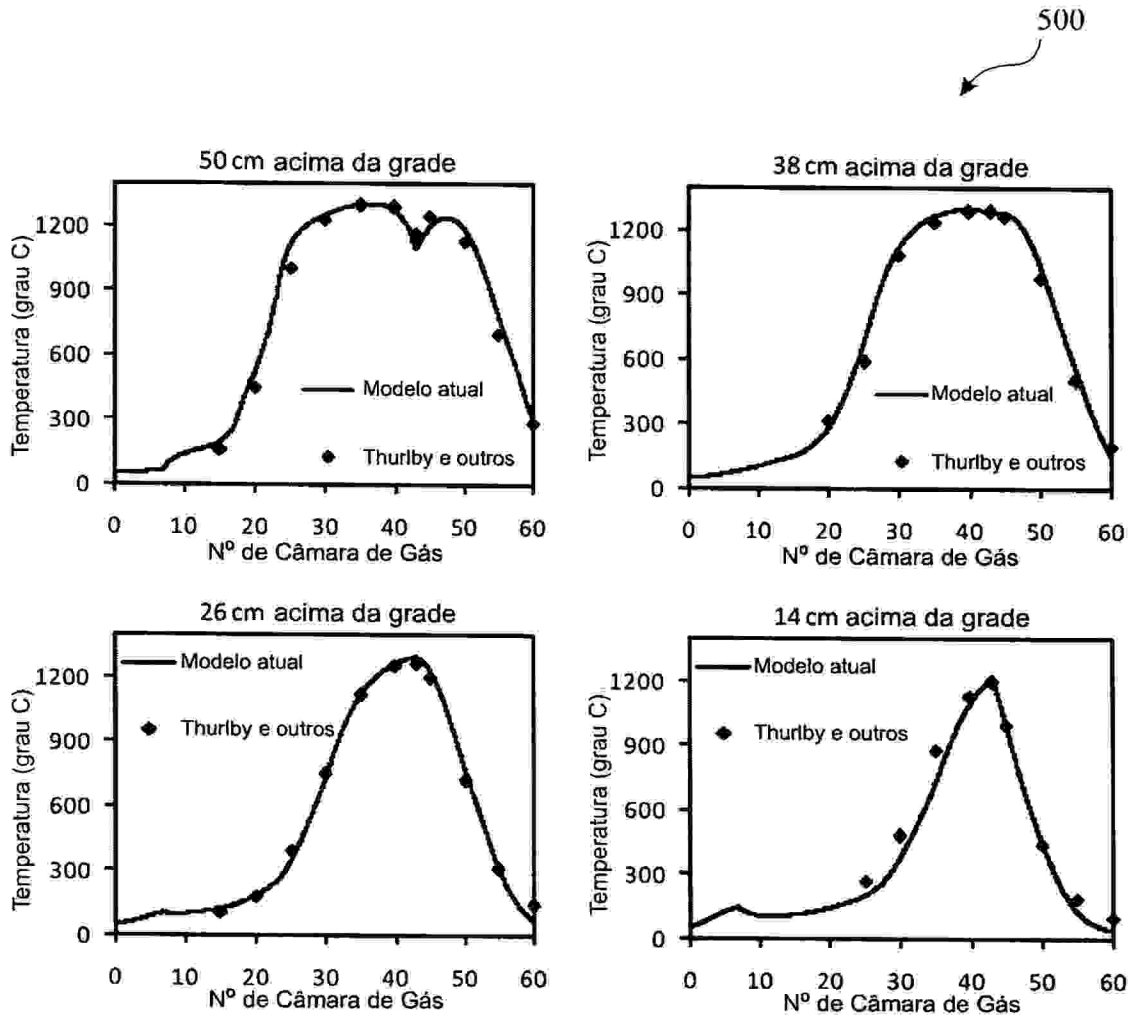


FIGURA 8

600

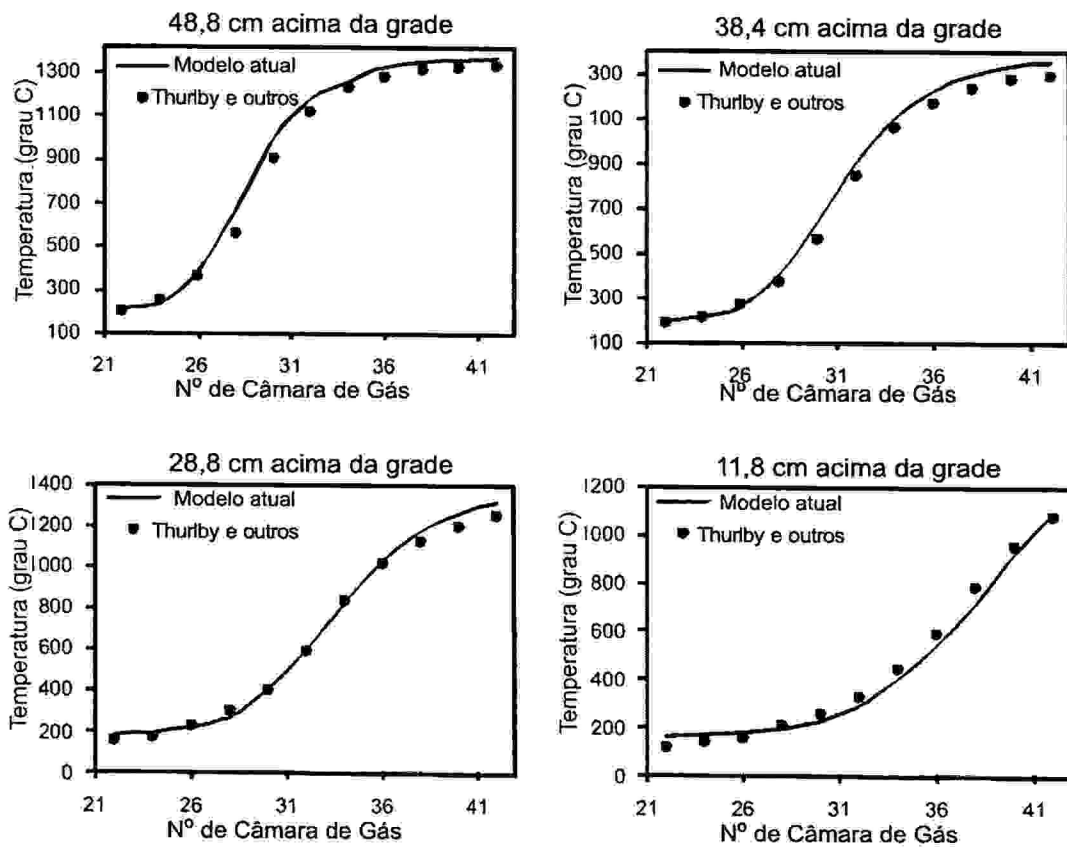


FIGURA 9