



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(11) BR 112020005034-2 B1

(22) Data do Depósito: 13/09/2018

(45) Data de Concessão: 10/10/2023

(54) Título: MÉTODO PARA CONTROLAR TRATAMENTO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO, E, SISTEMA

(51) Int.Cl.: F28F 27/00; F28G 15/00; G01N 17/00.

(30) Prioridade Unionista: 19/09/2017 US 62/560595.

(73) Titular(es): ECOLAB USA INC..

(72) Inventor(es): ANUPAM PRAKASH; STEPHEN J. HINTERLONG; HUNG-TING CHEN; CRAIG MYERS; WALTER H. GOODMAN; DANIEL MEIER.

(86) Pedido PCT: PCT US2018050841 de 13/09/2018

(87) Publicação PCT: WO 2019/060203 de 28/03/2019

(85) Data do Início da Fase Nacional: 13/03/2020

(57) Resumo: Um método para controlar tratamento de água de resfriamento em uma torre de resfriamento pode envolver medir dados operacionais de um ou mais trocadores de calor a jusante que recebem água de resfriamento da torre de resfriamento. Por exemplo, as temperaturas de entrada e saída de ambas as correntes quente e fria de um trocador de calor a jusante podem ser medidas, opcionalmente, juntamente com uma taxa de fluxo da corrente de água de resfriamento passando através do trocador de calor. Dados das correntes passando pelo trocador de calor podem ser usados para determinar uma eficiência de transferência de calor para o trocador de calor. A eficiência de transferência de calor pode ser observada ao longo de um período de tempo e mudanças na tendência detectadas para identificar problemas de incrustação de água de resfriamento. Um aditivo químico selecionado para reduzir, eliminar ou de outro modo controlar a incrustação de água de resfriamento pode ser controlado com base nas mudanças na eficiência de transferência de calor detectadas no trocador de calor a jusante.

MÉTODO PARA CONTROLAR TRATAMENTO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO, E, SISTEMA

REFERÊNCIA CRUZADA

[001] Este pedido reivindica prioridade do Pedido de Patente Provisório US 62/560.595, depositado em 19 de setembro de 2017, cujo conteúdo inteiro é aqui incorporado por referência.

CAMPO TÉCNICO

[002] Esta divulgação se refere a sistemas de água de resfriamento e, mais particularmente, a sistemas de controle de água de resfriamento.

FUNDO

[003] Torres de resfriamento de água são usadas em sistemas de troca de calor de grande capacidade, tal como aqueles encontrados em refinarias de petróleo e plantas de produção de produtos químicos. Torres de resfriamento são usadas para remover calor absorvido de um refrigerante de água circulante evaporando uma porção do refrigerante na torre de resfriamento. O refrigerante restante pode ser extraído de um reservatório ou depósito na base da torre por uma bomba e fornecido através da carga de calor continuamente. Como uma grande quantidade de água evapora nesse sistema, incrustação, lodo ou outros contaminantes de água podem acumular na água de recirculação ao longo do tempo.

[004] Para ajudar a prevenir ou limitar a extensão à qual a incrustação ocorre nas superfícies contatadas pela água de resfriamento recirculante, vários produtos químicos podem ser adicionados à água de resfriamento. Os produtos químicos podem inibir a precipitação de minerais para fora da água, o que de outra forma pode formar incrustação nas superfícies contatadas pela água. Adicionalmente ou alternativamente, os produtos químicos podem inibir as fontes de bioincrustação e/ou a deposição de produtos de corrosão nas superfícies contatadas pela água.

[005] Em um ambiente operacional típico, um técnico pode retirar

amostras de água de resfriamento do sistema de água de resfriamento e realizar análises químicas nas amostras. O técnico pode ajustar o tipo de produto químico adicionado à água de resfriamento com base na análise. Muitas vezes, o técnico só pode estar no local na instalação para realizar a análise da água de resfriamento em uma base limitada, tal como uma vez por mês ou uma por trimestre. Como resultado, mudanças nas condições de processo da instalação podem não ser detectadas até algum tempo após as condições de processo terem alterado. Mais ainda, mesmo quando a química da água de resfriamento é mudada para levar em conta as condições de processo mudadas, essas mudanças são geralmente reacionárias, em vez de mudanças preditivas, para evitar condições indesejáveis da água de resfriamento.

SUMÁRIO

[006] Em geral, esta divulgação é dirigida a técnicas e sistemas para monitorar e controlar água de resfriamento. Em alguns exemplos, as condições da água de resfriamento no circuito de água de resfriamento são monitoradas e/ou controladas indiretamente avaliando o desempenho térmico de uma ou mais unidades de transferência de calor a jusante através das quais a água de resfriamento é transportada. Por exemplo, uma rede de troca de calor pode incluir uma ou mais torres de resfriamento que são conectadas fluidamente e fornecem água de resfriamento a múltiplos trocadores de calor. A água de resfriamento pode passar através de um lado de cada trocador de calor enquanto um fluido de processo a ser resfriado passa por um lado oposto do trocador de calor, seja na direção de cocorrente ou contracorrente.

[007] Em alguns exemplos, o desempenho térmico de um ou mais trocadores de calor na rede de troca de calor é monitorado monitorando as temperaturas de entrada e saída de ambas a corrente de processo e a corrente de água de resfriamento que passa pelo trocador de calor. Outros parâmetros de processo, tal como a taxa de fluxo da corrente de água de resfriamento e/ou

da corrente de processo, também podem ser monitorados. Em qualquer caso, um parâmetro correspondente à eficiência de transferência de calor do trocador de calor pode ser determinado com base, pelo menos em parte, nos dados de temperatura. Uma tendência da eficiência de transferência de calor do trocador de calor pode ser estabelecida para fornecer uma referência a partir da qual desvios futuros da tendência podem ser determinados. A eficiência de transferência de calor do trocador de calor pode ser subsequentemente monitorada e mudanças na eficiência de transferência de calor detectadas. Aditivos químicos introduzidos na corrente de água de resfriamento podem ser controlados com base em mudanças detectadas na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor. Como resultado, mudanças inesperadas na eficiência de transferência de calor do trocador de calor causadas por condições da água de resfriamento podem ser detectadas precocemente e podem ser mitigadas pelo controle de aditivos químicos, em vez de esperar até que as condições tenham se deteriorado completamente a ponto de o desempenho do trocador de calor ser materialmente limitado.

[008] Na prática, a eficiência de transferência de calor do trocador de calor pode variar com base em uma variedade de fatores que impactam a eficiência com a qual a energia térmica pode se transferir da corrente de processo comparativamente quente para a corrente de água de resfriamento comparativamente fria. Por exemplo, incrustações depositadas nas superfícies do trocador de calor contatadas pelo vapor de processo podem reduzir a transferência térmica para a corrente de água de resfriamento. Da mesma forma, incrustações depositadas nas superfícies do trocador de calor contatadas pela corrente de água de resfriamento também podem reduzir a transferência térmica para a corrente de água de resfriamento.

[009] Em muitos ambientes de processo, o vapor de processo é uma corrente mais propensa a incrustação do que a corrente de água de

resfriamento. Como resultado, a acumulação de incrustações no lado da corrente de processo do trocador de calor pode ser significativamente maior do que no lado da corrente de água de resfriamento do trocador de calor. Por exemplo, dependendo das condições de operação, a acumulação de incrustações no lado de processo do trocador de calor pode causar 75% ou mais de degradação do desempenho de eficiência térmica do trocador de calor em comparação com quando o trocador de calor está limpo (por exemplo, livre de incrustação no lado de processo e/ou lado da água de resfriamento). Por exemplo, a acumulação de incrustações no lado de processo do trocador de calor pode causar 95% ou mais de degradação do desempenho de eficiência térmica do trocador de calor.

[0010] Não obstante o impacto dominante que a incrustação no lado de processo pode ter na eficiência térmica do trocador de calor, verificou-se que, em algumas aplicações, a eficiência térmica do trocador de calor ainda pode fornecer previsões acionáveis sobre as condições de incrustação do lado da água de resfriamento. Por exemplo, mudanças nas tendências de eficiência térmica do trocador de calor (por exemplo, quando não houve mudanças significativas na composição, temperatura e/ou taxas de fluxo da corrente de processo passando pelo trocador de calor) podem ser condições de incrustação atribuíveis no lado de água de resfriamento do trocador de calor. O aditivo químico introduzido na água de resfriamento a montante do trocador de calor pode ser controlado com base em uma mudança na eficiência térmica do trocador de calor detectada a jusante. Em algumas aplicações, monitoramento e controle em tempo real são fornecidos para facilitar a resposta rápida às condições de eficiência térmica do trocador de calor que se deterioram inesperadamente. Esta intervenção rápida pode se prolongar pela vida útil do trocador de calor até a próxima limpeza física de uma maneira que não é atingível se o trocador de calor ficar completamente incrustado antes de detectar as condições incrustadas.

[0011] Em um exemplo, é descrito um método para controlar tratamento de água de resfriamento. O método inclui receber dados de uma pluralidade de sensores indicativos de pelo menos uma temperatura de uma corrente de água de resfriamento entrando em um trocador de calor, uma temperatura da corrente de água de resfriamento saindo do trocador de calor, uma temperatura de uma corrente de processo entrando no trocador de calor e uma temperatura da corrente de processo saindo do trocador de calor. O método também envolve determinar uma eficiência de transferência de calor para o trocador de calor com base nos dados recebidos da pluralidade de sensores e estabelecer uma tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor durante um período de tempo. O método envolve ainda detectar uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor e controlar a adição de um aditivo químico na corrente de água de resfriamento em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor.

[0012] Em outro exemplo, é descrito um sistema que inclui uma torre de resfriamento, um trocador de calor, uma pluralidade de sensores, uma bomba e um controlador. A torre de resfriamento reduz uma temperatura de uma corrente de água de resfriamento através de resfriamento evaporativo. O trocador de calor tem uma entrada de água de resfriamento, uma saída de água de resfriamento, uma entrada de corrente de processo e uma saída de corrente de processo. A pluralidade de sensores está posicionada para medir uma temperatura de uma corrente de água de resfriamento entrando no trocador de calor através da entrada de água de resfriamento, uma temperatura da corrente de água de resfriamento saindo do trocador de calor através da saída de água de resfriamento, uma temperatura de uma corrente de processo entrando no trocador de calor através da entrada de corrente de processo e uma temperatura da corrente de processo saindo do trocador de calor através da saída de corrente de processo. A bomba é posicionada a montante do trocador

de calor e configurada para injetar um aditivo químico na corrente de água de resfriamento. O controlador é acoplado comunicativamente à pluralidade de sensores e à bomba e configurado para: receber dados da pluralidade de sensores, determinar uma eficiência de transferência de calor para o trocador de calor com base nos dados recebidos da pluralidade de sensores, estabelecer uma tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor por um período de tempo, detectar uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor e controlar a bomba em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor.

[0013] Os detalhes de um ou mais exemplos são estabelecidos nos desenhos anexos e na descrição abaixo. Outras características, objetivos e vantagens serão aparentes partir da descrição e dos desenhos e das reivindicações.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0014] FIG. 1 é um diagrama conceitual de um sistema de monitoramento e controle de água de resfriamento de exemplo.

[0015] FIG. 2 é um diagrama de fluxo ilustrando uma rede de trocadores de calor de exemplo contendo múltiplos trocadores de calor nos quais um sistema de monitoramento e controle de água de resfriamento de acordo com a FIG. 1 pode ser implementado.

[0016] FIG. 3 é um diagrama de fluxo ilustrando um processo de produção de amônia de exemplo no qual um sistema de monitoramento e controle de água de resfriamento de acordo com a FIG. 1 pode ser implementado.

[0017] FIGS. 4 a 7 mostram dados de temperatura brutos e suavizados de exemplo para correntes de fluxo em um trocador de calor.

[0018] FIG. 8 mostra dados de taxa de fluxo de água de resfriamento de exemplo para o trocador de calor fornecendo dados de temperatura

ilustrados nas FIGS. 4 a 7.

[0019] FIG. 9 é um gráfico mostrando coeficientes de transferência de calor de exemplo calculados usando os dados de temperatura e dados de taxa de fluxo suavizados das FIGS. 4 a 8.

[0020] FIG. 10 é um gráfico mostrando coeficientes de transferência de calor de exemplo calculados usando os dados de temperatura e dados de taxa de fluxo suavizados das FIGS. 4 a 8 sobrepostos com marcadores de periodicidade.

[0021] FIG. 11 mostra valores de potencial de oxidação-redução (ORP) de exemplo para a corrente de água de resfriamento correspondendo aos dados de taxa de fluxo na FIG. 8.

[0022] FIGS. 12 a 15 mostram dados de temperatura brutos e suavizados de exemplo para correntes de fluxo em outro trocador de calor de exemplo.

[0023] FIG. 16 mostra dados de taxa de fluxo de água de resfriamento de exemplo para o trocador de calor fornecendo dados de temperatura ilustrados nas FIGS. 12 a 15.

[0024] FIG. 17 é um gráfico mostrando coeficientes de transferência de calor de exemplo calculados usando os dados de temperatura e dados de taxa de fluxo suavizados das FIGS. 12 a 16.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0025] Esta divulgação é geralmente dirigida a sistemas de monitoramento e controle de água de resfriamento, incluindo sistemas e técnicas para controlar a adição de um ou mais agentes químicos a uma fonte de água de resfriamento usada para troca térmica com uma ou mais correntes comparativamente quentes. Os um ou mais agentes químicos adicionados à água de resfriamento podem prevenir ou minimizar a extensão até a qual incrustações se depositam nas superfícies de troca de calor em contato de fluido com a água de resfriamento. Isto pode melhorar a eficiência da

instalação na qual a rede de troca de calor com adição de produto químico de água de resfriamento controlada é implementada.

[0026] FIG. 1 é um diagrama conceitual de um sistema de monitoramento e controle de água de resfriamento de exemplo 100. O sistema 100 inclui uma torre de resfriamento 102, um ou mais trocadores de calor 104 e uma bomba 106 que pode introduzir um ou mais agentes químicos em uma corrente de água de resfriamento sendo recirculada através da rede de troca de calor. Em operação, uma corrente de processo comparativamente quente e uma corrente de água de resfriamento comparativamente fria podem ser passadas através do trocador de calor 104. Os fluidos podem ser separados por uma superfície de parede sólida dentro do trocador de calor para prevenir mistura dos fluidos. Energia térmica pode se transferir da corrente de processo comparativamente quente para a corrente de água de resfriamento comparativamente fria, resultando em uma redução na temperatura da corrente de processo e um aumento na temperatura da corrente de água de resfriamento. Embora o sistema de exemplo da FIG. 1 inclua apenas um único trocador de calor 104 para fins de ilustração, uma rede de troca de calor utilizando os conceitos da presente divulgação pode incluir múltiplos trocadores de calor (por exemplo, cada um configurado como trocador de calor 104 é descrito) pelos quais uma corrente de água de resfriamento flui em série ou em paralelo.

[0027] O trocador de calor 104 no exemplo da FIG. 1 inclui uma entrada de água de resfriamento 108 e uma saída de água de resfriamento 110. O trocador de calor também inclui uma entrada de corrente de processo 112 e saída de corrente de processo 114. Uma corrente de água de resfriamento 116 pode entrar no trocador de calor 104 através da entrada de água de resfriamento 108, fluir através de uma ou mais vias divididas dentro do trocador de calor e sair do trocador de calor através da saída de água de resfriamento 110. Da mesma forma, uma corrente de processo 118 pode

entrar no trocador de calor 104 através da entrada de corrente de processo 112, fluir através de uma ou mais vias divididas dentro do trocador de calor que são separadas da corrente de água de resfriamento e sair do trocador de calor através da saída de corrente de processo 114. Em algumas configurações, a corrente de água de resfriamento e a corrente de processo fluem em direções de cocorrente através do trocador de calor. Em outras configurações, a corrente de água de resfriamento na corrente de processo flui em direções de contracorrente através do trocador de calor. Em geral, o trocador de calor 104 pode ser implementado usando qualquer tipo de projeto de trocador de calor desejado, tal como um trocador de calor de casco e tubo, um trocador de calor de placas ou outro tipo de dispositivo de transferência térmica.

[0028] Na configuração ilustrada, a corrente de água de resfriamento 116 é distribuída para o trocador de calor 104 de uma torre de resfriamento a montante 102 e reciclada de volta para a torre de resfriamento após passar pelo trocador de calor. Como indicado acima, a corrente de água de resfriamento 116 pode passar através de um ou mais trocadores de calor antes de entrar no trocador de calor 104 e/ou através de um ou mais trocadores de calor depois de passar pelo trocador de calor 104 antes de retornar à torre de resfriamento 102. Na torre de resfriamento 102, energia térmica transferida para a corrente de água de resfriamento fluindo através do circuito de transferência de calor pode ser removida e descarregada para a atmosfera. Por exemplo, a torre de resfriamento 102 pode colocar a corrente de água de resfriamento em contato direto com ar, resultando em uma redução na temperatura da corrente de água de resfriamento através de resfriamento evaporativo. A água de resfriamento pode ser distribuída para um depósito ou reservatório antes de ser extraída e passada através da rede de troca de calor.

[0029] Além da perda de água por evaporação, a água de resfriamento pode ser removida periodicamente do sistema de troca de calor. Uma linha de

descarga 120 pode ser usada para “sangrar” uma porção da água do depósito ou do reservatório enquanto o sistema estiver operando, ou uma “descarga” pode ser realizada, o que tipicamente é uma drenagem completa do depósito. Em qualquer caso, uma linha de água de “reabastecimento” 122 pode fornecer água fresca ao sistema de resfriamento para completar perdas de água por evaporação ou despejo deliberado.

[0030] Na prática, uma variedade de questões pode impactar o desempenho térmico do trocador de calor 104 do lado da água de resfriamento do trocador de calor. Por exemplo, se a água de resfriamento contiver um alto nível de sólidos (por exemplo, lodo, detritos), os sólidos podem obstruir parcialmente ou totalmente o caminho de fluido da água de resfriamento através do trocador de calor 104. Como um exemplo, a água de resfriamento pode fazer depósitos se formarem nas superfícies internas do trocador de calor 104 contatadas pela água de resfriamento.

[0031] Por exemplo, a evaporação da água de resfriamento pode levar à concentração de sais (por exemplo, cálcio, sódio, magnésio) na corrente de água de resfriamento reciclada pelo sistema. Estes sais podem formar depósitos de incrustação nas superfícies do trocador de calor 104 contatadas pela água de resfriamento. Como outro exemplo, se a água de resfriamento contiver materiais orgânicos e micróbios, biofilmes podem se depositar nas superfícies do trocador de calor 104 contatadas pela água de resfriamento. Como ainda um exemplo adicional, produtos de corrosão podem se desenvolver na corrente de água de resfriamento, por exemplo, devido à oxidação do componente de metal (por exemplo, ferro, alumínio e/ou zinco). Estes produtos de corrosão também podem se depositar em superfícies do trocador de calor 104 contatadas pela água de resfriamento. Independente do mecanismo ou da causa da incrustação, um acúmulo de uma camada de barreira nas superfícies do trocador de calor 104 contatadas pela água de resfriamento pode reduzir a eficácia de transferência térmica através do

trocador de calor.

[0032] Para ajudar a reduzir ou eliminar condições de incrustação potenciais na corrente de água de resfriamento passando pela rede de transferência de calor, um ou mais produtos químicos podem ser adicionados à água de resfriamento para inibir a formação e/ou deposição de incrustantes. Na configuração da FIG. 1, o sistema 100 inclui uma bomba 106 conectada fluidamente a um reservatório de aditivo químico 124. A bomba 106 pode operar para adicionar um ou mais produtos químicos à água de resfriamento que são selecionados para inibir a formação e/ou deposição de incrustantes em superfícies contatadas pela água de resfriamento. Exemplos de aditivos químicos que podem ser injetados na água de resfriamento incluem, mas não estão limitados a, um polímero (inibidor de incrustação), um composto de organofósforo, tal como polifosfato de zinco, ortofosfato de zinco e/ou composto de organofósforo de zinco (inibidores de incrustação e corrosão) e um biocida. Adicionalmente ou alternativamente, um ou mais aditivos químicos podem ser injetados na água de resfriamento para ajustar o pH da água de resfriamento. Exemplos de compostos de ajuste de pH incluem ácidos minerais, ácidos orgânicos e bases inorgânicas.

[0033] Na configuração ilustrada da FIG. 1, a bomba 106 é ilustrada como adicionando aditivo químico à água de resfriamento entre a torre de resfriamento 102 e o trocador de calor 104. Na prática, o aditivo químico pode ser introduzido na corrente de água de resfriamento em qualquer local adequado, tal como um depósito associado à torre de resfriamento. Mais ainda, embora o sistema 100 na FIG. 1 ilustre uma única bomba 106 acoplada fluidamente a um único reservatório de aditivo químico 124, a bomba 106 pode estar em comunicação de fluido seletiva com múltiplos reservatórios contendo diferentes produtos químicos e/ou o sistema 100 pode incluir múltiplas bombas cada qual configurada para introduzir um produto químico diferente na água de resfriamento. Ao fornecer múltiplos aditivos químicos

diferentes, incluindo alguns ou todos aqueles discutidos acima, o tipo de produto químico introduzido na água de resfriamento pode ser mudado com base em condições variáveis da água de resfriamento.

[0034] Para controlar a adição de aditivo químico na água de resfriamento no sistema 100, o desempenho térmico do trocador de calor 104 pode ser monitorado. Os desempenhos térmicos do trocador de calor 104 podem ser monitorados para avaliar a eficiência com a qual energia térmica está se transferindo da corrente de processo comparativamente quente para a corrente de água de resfriamento comparativamente fria. A eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 pode ser maior quando o trocador de calor estiver inicialmente limpo. Por exemplo, o trocador de calor 104 pode ser limpo periodicamente usando instrumentos de limpeza químicos e/ou mecânicos para remover incrustação no lado de processo e/ou de resfriamento do trocador, desde que as superfícies de troca de calor do trocador de calor estejam limpas e substancialmente ou totalmente sem incrustações. Com o tempo em serviço, depósitos de incrustação podem acumular no lado da corrente de processo e/ou no lado da corrente de água de resfriamento das superfícies de transferência de calor do trocador de calor. Como resultado, a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 pode deteriorar durante o curso da manutenção de uma limpeza para a próxima limpeza.

[0035] Para ajudar a monitorar a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104, múltiplos sensores podem ser implantados para monitorar diferentes aspectos operacionais do trocador de calor. No exemplo da FIG. 1, o sistema 100 inclui um sensor de temperatura 126 que mede uma temperatura da corrente de água de resfriamento 116 e 3 trocadores de calor 104 e um sensor de temperatura 128 medindo uma temperatura da corrente de água de resfriamento saindo do trocador de calor. O sistema também inclui um sensor de temperatura 130 medindo a temperatura da corrente de processo

118 entrando no trocador de calor 104 e um sensor de temperatura 132 medindo a temperatura da corrente de processo saindo do trocador de calor. Embora os sensores de temperatura sejam ilustrados esquematicamente como sendo posicionados imediatamente adjacentes ao trocador de calor 104, os sensores de temperatura podem ser posicionados em um local a montante ou a jusante do trocador de calor, desde que os sensores de temperatura forneçam uma medida adequadamente precisa da temperatura da respectiva corrente entrando ou saindo do trocador de calor.

[0036] O sistema 100 pode incluir sensores adicionais e/ou diferentes para medir diferentes parâmetros operacionais do trocador de calor 104. Por exemplo, o sistema pode incluir um ou mais sensores de fluxo para medir a taxa de fluxo da corrente de água de resfriamento 116 e/ou da corrente de processo 118. No exemplo ilustrado, o sistema 100 mostra um sensor de fluxo 134 posicionado para medir uma taxa de fluxo da corrente de água de resfriamento saindo do trocador de calor 104. Em outros exemplos, as taxas de fluxo da corrente de água de resfriamento 116 e/ou da corrente de processo 118 podem ser determinadas com base em velocidades de bomba ou outras informações dentro do ambiente operacional indicando a quantidade de fluido transportada através do trocador de calor. Outros sensores que podem ser empregados de modo útil no sistema 100 incluem sensores de pressão (por exemplo, para medir uma pressão diferencial da corrente de água de resfriamento e/ou corrente de processo através do trocador de calor), um sensor de potencial de oxidação-redução (ORP) para medir o ORP da água de resfriamento, um sensor de pH para medir o pH da água de resfriamento e/ou um sensor condutivo para medir a condutividade da água de resfriamento.

[0037] O sistema 100 no exemplo da FIG. 1 também inclui o controlador 136. O controlador 136 pode ser conectado comunicativamente aos componentes de sensor e aos componentes controláveis do sistema 100 para gerenciar a operação global do sistema. Por exemplo, o controlador 136

pode ser conectado comunicativamente à bomba 106, sensor de temperatura de entrada de água de resfriamento 126, sensor de temperatura de saída de água de resfriamento 128, sensor de temperatura de entrada de corrente de processo 130, sensor de temperatura de saída de corrente de processo 132 e sensor de fluxo 134.

[0038] O controlador 136 inclui processador 138 e memória 140. O controlador 136 comunica com componentes conectados comunicativamente via uma conexão com fio ou sem fio, que no exemplo da FIG. 1 é ilustrada como uma conexão com fio. Os sinais de controle enviados do controlador 136 e recebidos pelo controlador podem viajar através da conexão. A memória 140 armazena software para executar o controlador 136 e também pode armazenar dados gerados ou recebidos pelo processador 138, por exemplo, dos sensores de temperatura 126, 128, 130, 132 e do sensor de fluxo 134. O processador 138 executa o software armazenado na memória 140 para gerenciar a operação do sistema 100.

[0039] O controlador 136 pode ser implementado usando um ou mais controladores, que podem estar localizados no local da instalação contendo o trocador de calor 104. O controlador 136 pode se comunicar com um ou mais dispositivos de computação remotos 142 via uma rede 144. Por exemplo, o controlador 136 pode se comunicar com uma rede de computação em nuvem distribuída geograficamente, que pode executar todas e quaisquer das funções atribuídas ao controlador 136 nesta divulgação.

[0040] A rede 144 pode ser configurada para acoplar um dispositivo de computação a outro dispositivo de computação para permitir que os dispositivos se comuniquem juntos. A rede 144 pode ser ativada para empregar qualquer forma de mídia legível por computador para comunicar informações de um dispositivo eletrônico para outro. Além disso, a rede 144 pode incluir uma interface sem fio e/ou uma interface com fio, tal como a Internet, além de redes de área local (LANs), redes de área ampla (WANs),

conexões diretas, tal como por meio de uma porta de barramento serial universal (USB), outras formas de mídia legível por computador ou qualquer combinação dos mesmos. Em um conjunto interconectado de LANs, incluindo aqueles baseados em arquiteturas e protocolos diferentes, um roteador pode agir como um enlace entre LANs, permitindo que mensagens sejam enviadas de uma para outra. Os enlaces de comunicação dentro das LANs podem incluir par de fios torcidos ou cabo coaxial, enquanto os enlaces de comunicação entre redes podem utilizar linhas telefônicas analógicas, linhas digitais dedicadas completas ou fracionárias, Redes Digitais de Serviços Integrados (ISDNs), Linhas Digitais de Assinantes (DSLs), enlaces sem fio, incluindo enlaces celulares e de satélite ou outros enlaces de comunicação. Além disso, computadores remotos e outros dispositivos eletrônicos relacionados podem ser conectados remotamente a qualquer de LANs ou WANs via um modem e enlace telefônico temporário.

[0041] Em operação, os sensores de temperatura 126, 128, 130 e 132 podem gerar dados indicativos de uma temperatura de uma respectiva corrente de fluido entrando ou saindo do trocador de calor 104. Da mesma forma, o sensor de fluxo 134 pode gerar dados indicativos de uma taxa de fluxo de água de resfriamento saindo do trocador de calor 104. O controlador 136 pode receber dados dos sensores implantados em todo o sistema 100 e usar dados gerados pelos sensores para determinar uma eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104. Com referência às informações armazenadas na memória relativas a informações de temperatura e/ou informações de taxa de fluxo recebidas para valores de eficiência de transferência de calor, o controlador 136 pode determinar valores de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor.

[0042] Em alguns exemplos, o controlador 136 pode determinar a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 usando a Equação (1) abaixo:

$$\text{Equação 1: Valor de U: } \frac{\dot{m} C_p \Delta T_{\text{água}}}{\Delta T_{LMTD} \times Tr. Calor \times \text{Área} \times F_t}$$

[0043] Na Equação (1) acima, o Valor de U é a eficiência de transferência de calor, m é a massa da corrente de água de resfriamento por unidade de tempo, C_p é o calor específico da corrente de água de resfriamento, ΔT_{água} é uma diferença entre a temperatura da corrente de água de resfriamento saindo do trocador de calor e a temperatura da corrente de água de resfriamento entrando em um trocador de calor, Tr. Calor. Área é uma quantidade de área de superfície do trocador de calor sobre a qual energia térmica é transferida entre a corrente de processo e a corrente da água de resfriamento, F_t é um fator de correção correspondente a uma geometria da troca de calor e ΔT_{LMTD} é uma diferença de temperatura média logarítmica. Parâmetros tais como o calor específico da corrente de água de resfriamento, a área de transferência de calor do trocador de calor 104 e um fator de correção podem ser armazenados em uma memória e/ou calculáveis com base em informações armazenadas na memória. Por exemplo, um usuário pode usar um dispositivo de entrada de usuário para armazenar informações na memória 140 do controlador 136 correspondentes ao calor específico da corrente de água de resfriamento (por exemplo, o calor específico da água) e características correspondentes à geometria do trocador de calor 104.

[0044] A diferença de temperatura média logarítmica na Equação (1) acima pode ser calculada usando as Equações (2) ou (3) abaixo.

Equação 2: ΔT_{LMTD}

$$= \frac{(T_{\text{processo,entrada}} - t_{\text{água,saida}}) - (T_{\text{processo,saida}} - t_{\text{água,entrada}})}{\log_e \frac{T_{\text{processo,entrada}} - t_{\text{água,saida}}}{T_{\text{processo,saida}} - t_{\text{água,entrada}}}}$$

Equação 3: ΔT_{LMTD}

$$= \frac{(T_{\text{processo,entrada}} - t_{\text{água,entrada}}) - (T_{\text{processo,saida}} - t_{\text{água,saida}})}{\log_e \frac{T_{\text{processo,entrada}} - t_{\text{água,entrada}}}{T_{\text{processo,saida}} - t_{\text{água,saida}}}}$$

[0045] A Equação (2) pode ser usada em circunstâncias em que a corrente de água de resfriamento e a corrente de processo fluem em uma

direção contracorrente. A Equação (3) pode ser usada em circunstâncias em que a corrente de água de resfriamento e a corrente do processo fluem em uma direção cocorrente. Em ambas as Equações (2) e (3), $T_{\text{Processo,entrada}}$ é a temperatura da corrente de água de processo entrando no trocador de calor conforme medida pelo sensor de temperatura 130, $T_{\text{processo,saída}}$ é a temperatura da corrente de processo saindo do trocador de calor conforme medida pelo sensor de temperatura 132, $t_{\text{água,entrada}}$ é a temperatura da corrente de água de resfriamento entrando no trocador de calor conforme medida pelo sensor de temperatura 126 e $t_{\text{água,saída}}$ é a temperatura da corrente de água de resfriamento saindo do trocador de calor, conforme medida pelo sensor de temperatura 128.

[0046] O controlador 136 pode receber dados dos sensores no sistema 100 e determinar a eficiência da transferência de calor do trocador de calor 104 continuamente ou periodicamente. Por exemplo, o controlador 136 pode determinar a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 pelo menos uma vez por dia, tal como pelo menos uma vez por hora, pelo menos uma vez por minuto ou pelo menos uma vez por segundo. A frequência com a qual o controlador 136 calcula a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 pode variar dependendo da taxa de amostragem dos sensores no sistema 100, da capacidade de processamento do controlador 136 e/ou de uma entrada do operador selecionando a frequência com a qual a eficiência de transferência de calor deve ser calculada.

[0047] Na prática, é desejável se o trocador de calor 104 exibir uma alta eficiência de transferência de calor que permaneça alta (por exemplo, substancialmente constante) durante o intervalo de serviço do trocador de calor. Na prática, no entanto, a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 pode diminuir ao longo do tempo à medida que a incrustação acumula no lado da corrente de processo do trocador de calor e/ou no lado de água de resfriamento do trocador de calor. Ao monitorar a taxa na qual a

incrustação acumula no trocador de calor e a taxa correspondente na qual a eficiência térmica muda para o trocador de calor, ação intervencionista pode ser tomada no lado da água de resfriamento controlando a bomba 106 para controlar a adição de um ou mais aditivos químicos à corrente de água de resfriamento em resposta à detecção de mudanças na eficiência térmica.

[0048] Em alguns exemplos, o controlador 136 estabelece uma tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor 104 durante um período de tempo. O período durante o qual a tendência de eficiência da transferência de calor é estabelecida pode começar quando o trocador de calor é colocado em serviço pela primeira vez (por exemplo, é novo ou após limpeza). Isto é quando o trocador de calor 104 é menos provável de ser incrustado. Alternativamente, o período de tempo durante o qual a tendência de eficiência de transferência de calor é estabelecida pode começar após o trocador de calor ter sido colocado em serviço por um período de tempo. Por exemplo, a tendência de eficiência de transferência de calor pode começar quando mudanças são feitas na corrente de água de resfriamento (por exemplo, após a descarga) e/ou mudanças são feitas na corrente de processo (por exemplo, mudança na temperatura, pressão, composição) que flui através do trocador de calor 104.

[0049] Independentemente de quando o período de tempo para medir a tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor 104 começa, o controlador 136 pode medir a eficiência de transferência de calor por um período de tempo eficaz para fornecer uma tendência estatisticamente razoável do comportamento de eficiência de transferência de calor. Por exemplo, o controlador 136 pode medir a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 por pelo menos 5 dias, tal como pelo menos 10 dias, pelo menos 20 dias ou pelo menos 30 dias. Em alguns exemplos, o controlador 136 mede a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 por um período de tempo variando de 5 dias a

100 dias, tal como de 10 dias a 45 dias. Em alguns exemplos, o controlador 136 mede a eficiência de transferência de calor como uma média móvel durante um certo número de dias anteriores, tal como um período precedente variando de 5 dias a 50 dias.

[0050] O controlador 136 pode gerar valores de eficiência de transferência de calor com base em informações de sensor recebidas durante o período de medição. O controlador 136 pode ainda realizar análise de tendência estatística nos valores de eficiência de transferência de calor determinados durante o período de medição para identificar uma tendência para a eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104.

[0051] Em alguns exemplos, o controlador 136 pode ajustar uma curva aos valores de eficiência de transferência de calor plotados em um eixo y de um gráfico com tempo de medição correspondente plotado no eixo x do gráfico. Em um exemplo, a curva é uma equação de ordem simples (também chamada de equação de primeira ordem) tendo a forma $y=m*x+b$, onde y é a eficiência de transferência de calor, x é o tempo, m é a inclinação da curva e b é a interceptação da curva. A inclinação da curva “m” pode ser armazenada em uma memória associada ao controlador 136 como uma tendência correspondente à eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104. Em outros exemplos, uma curva polinomial de ordem superior pode ser adequada aos dados.

[0052] Em alguns exemplos, o controlador 136 processa os dados de temperatura recebidos dos sensores 126, 128, 130 e 132 e/ou dados de fluxo recebidos do sensor 134 antes de calcular a eficiência de transferência de calor. Por exemplo, o controlador 136 pode suavizar os dados usando um algoritmo de suavização estatística para remover ruído e valores discrepantes dos dados. O controlador 136 pode, então, determinar a eficiência de transferência de calor usando valores de temperatura suavizados. Alternativamente, o controlador 136 pode calcular valores de eficiência de

transferência de calor para os dados brutos e aplicar o algoritmo de suavização aos valores calculados de eficiência de transferência de calor. A análise de tendência subsequente e a detecção de mudança podem ser realizadas usando os dados suavizados.

[0053] O controlador 136 pode continuar recebendo medições dos sensores no sistema 100 e gerando valores de eficiência de transferência de calor com base nos dados de sensor recebidos após estabelecer uma tendência de eficiência de transferência de calor. O controlador 136 pode comparar as informações de eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 com a tendência de eficiência de transferência de calor determinada para o trocador de calor e detectar se há uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor. Por exemplo, o controlador 136 pode determinar uma tendência de eficiência de transferência de calor por um período de medição e comparar essa tendência com a tendência estabelecida anteriormente. O período de medição pode ser comparativamente curto (por exemplo, um dia ou menos) ou mais longo (por exemplo, um dia ou mais, tal como uma semana ou mais). Em aplicações em que o controlador 136 adequa uma equação de ordem simples aos dados de eficiência de transferência de calor calculados com base nos dados recebidos do trocador de calor 104, o controlador pode determinar uma inclinação da eficiência de transferência de calor durante o período de medição. O controlador 136 pode comparar a inclinação da tendência de eficiência de transferência de calor do trocador de calor 104 durante o período de medição com a inclinação da tendência de eficiência de transferência de calor estabelecida anteriormente.

[0054] O controlador 136 pode determinar se a tendência de eficiência de transferência de calor durante o período de medição difere da tendência de eficiência de transferência de calor estabelecida anteriormente em mais de uma quantidade de limiar. A quantidade de limiar pode ser maior ou igual a 1% do valor de eficiência de transferência de calor estabelecido anteriormente

(por exemplo, inclinação), tal como maior ou igual a 5% do valor de eficiência de transferência de calor estabelecido anteriormente, maior ou igual a 10% do valor de eficiência de transferência de calor estabelecido anteriormente, maior ou igual a 25% do valor de eficiência de transferência de calor estabelecido anteriormente, ou maior ou igual a 50% do valor de eficiência de transferência de calor estabelecido anteriormente. Por exemplo, a quantidade de limiar pode variar de 1 por cento a 25 por cento do valor de eficiência de transferência de calor estabelecido anteriormente, tal como 5 por cento a 20 por cento.

[0055] Se a tendência de eficiência de transferência de calor estiver desviando da tendência de eficiência de transferência de calor estabelecida anteriormente, ela pode ser indicativa que o trocador de calor esteja incrustando mais rapidamente durante o período de medição do que durante a operação anterior. Se não tratada, a incrustação mais rápida pode reduzir a eficiência operacional do trocador de calor 104, potencialmente necessitando de um desligamento caro e não planejado para limpar o trocador antes da próxima limpeza programada.

[0056] Para ajudar a responder proativamente à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor, o controlador 136 pode controlar a bomba 106 para controlar a adição de aditivo químico à água de resfriamento em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor. O processador 138 do controlador 136 pode comparar a mudança na tendência de eficiência de transferência de calor com um ou mais limiares armazenados na memória 140, relacionando diferentes mudanças de tendência de eficiência a diferentes esquemas de controle de aditivo. Em alguns exemplos, o controlador 136 parte e/ou para a bomba 106 ou aumenta e/ou diminui a taxa da bomba 106 para ajustar a concentração de um aditivo químico na água de resfriamento. Partir a bomba 106 ou aumentar a taxa de operação da bomba 106 pode aumentar a concentração do aditivo químico na

água de resfriamento. Isto pode ser útil se a mudança detectada indicar que a tendência de eficiência de transferência de calor desviou negativamente, significando que o trocador de calor 104 está incrustando mais rápido do que detectado anteriormente. Parar a bomba 106 ou diminuir a taxa de operação da bomba 106 pode diminuir a concentração de aditivo químico na água de resfriamento. Isto pode ser útil se a mudança detectada indicar que a tendência de eficiência de transferência de calor desviou positivamente, significando que o trocador de calor 104 está incrustando mais lentamente do que detectado anteriormente, de modo que menos aditivo pode ser usado.

[0057] Em aplicações em que existem múltiplos aditivos químicos diferentes disponíveis para introdução na água de resfriamento, o controlador 136 pode selecionar um ou mais aditivos químicos diferentes a serem introduzidos na água de resfriamento com base na mudança detectada na tendência de eficiência da transferência de calor. O controlador 136 pode selecionar um ou mais aditivos químicos diferentes controlando válvula(s) e/ou bomba(s) acoplando fluidamente os um ou mais aditivos químicos diferentes à corrente de água de resfriamento. Por exemplo, o controlador 136 pode variar o tipo de aditivo químico introduzido na água de resfriamento e/ou a taxa na qual o aditivo químico é introduzido na água de resfriamento com base na mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor e, opcionalmente, também com base em outros dados de sensor, tal como ORP, pH e/ou condutividade da água de resfriamento.

[0058] Em alguns exemplos, o controlador 136 parte a bomba 106 ou aumenta a taxa de operação da bomba 106 em resposta à detecção de uma mudança indicando que a tendência de eficiência na transferência de calor para o trocador de calor 104 diminuiu mais do que uma quantidade de limiar em comparação com a tendência de eficiência de transferência de calor estabelecida anteriormente. O controlador 136 pode continuar recebendo dados dos sensores no sistema 100 e calculando uma eficiência de

transferência de calor para o trocador de calor 104 após ajustar o aditivo químico introduzido na água de resfriamento. O controlador 136 pode monitorar a tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor 104 em seguida a mudanças feitas no aditivo químico (por exemplo, tipo e/ou taxa) em resposta à detecção de uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor. O controlador 136 pode determinar se a tendência de eficiência de transferência de calor estabiliza (por exemplo, permanece substancialmente constante), retorna em direção à tendência estabelecida anteriormente ou desvia ainda mais da tendência estabelecida anteriormente. O controlador 136 pode controlar o sistema 100 para modificar ainda mais o tipo e/ou a taxa de aditivo químico introduzido na água de resfriamento com base no monitoramento contínuo da eficiência de transferência de calor. Por exemplo, o controlador 136 pode aumentar a quantidade de aditivo químico na água de resfriamento (por exemplo, partindo ou aumentando a taxa da bomba 106), pelo menos até que a tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor 104 exiba um ponto de inflexão. O ponto de inflexão pode corresponder a uma mudança de uma tendência descendente para a eficiência de transferência de calor (por exemplo, indicando que a taxa de incrustação está aumentando) para uma tendência ascendente (por exemplo, indicando que a taxa de incrustação está diminuindo).

[0059] O controlador 136 pode tomar uma variedade de ações de controle diferentes dentro do sistema 100, além de ou no lugar de controlar a bomba 106 para mudar um tipo ou uma concentração de aditivo químico na água de resfriamento. Como um exemplo, o controlador 136 pode aumentar a taxa na qual a água de resfriamento flui através do trocador de calor 104 em resposta à detecção de uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor. Por exemplo, se o controlador 136 detectar uma mudança repentina na magnitude absoluta da eficiência de

transferência de calor do trocador de calor 104 e/ou uma diminuição significativa na tendência de eficiência de transferência de calor (por exemplo, indicando incrustação rápida) isso pode ser indicativo de obstrução do trocador de calor devido a lodo, detritos ou outra matéria particulada grande. Conseqüentemente, aumentar a taxa de fluxo da água de resfriamento que passa pelo trocador pode ajudar a lavar matéria particulada alojada no trocador de calor. O controlador 136 pode controlar uma bomba (não ilustrada) fornecendo água de resfriamento de um depósito associado à torre de resfriamento 102 para o trocador de calor 104 para controlar a taxa de fluxo da alimentação de água de resfriamento para o trocador de calor.

[0060] Um sistema de monitoramento e controle de água de resfriamento de acordo com a divulgação pode ser implementado em qualquer processo em que um fluido de troca térmica seja usado para transferir energia térmica com uma ou mais correntes de processo através de um trocador de calor. Exemplos de correntes de processo que podem fluir através do lado quente do trocador de calor 104 incluem, mas não estão limitados a, petróleo bruto, derivados de petróleo bruto (por exemplo, produtos de petróleo bruto refinados ou parcialmente refinados) e produtos intermediários ou finais em um processo de produção de amônia. As correntes de processo fluindo através do lado quente do trocador de calor 104 podem geralmente ser de fase líquida, embora possam ser de fase de vapor e/ou uma corrente multifásica de líquido-vapor.

[0061] Como brevemente mencionado acima, embora a FIG. 1 ilustre um sistema de monitoramento e controle contendo apenas um único trocador de calor; exemplos de aplicações podem incluir múltiplos trocadores de calor em série e/ou em paralelo. FIG. 2 é um diagrama de fluxo ilustrando uma rede de trocadores de calor de exemplo contendo múltiplos trocadores de calor nos quais um sistema de monitoramento e controle de água de resfriamento de acordo com a divulgação pode ser implementado. Como mostrado neste

exemplo, múltiplos trocadores de calor 104A-104D são conectados fluidamente a uma corrente de água de resfriamento fornecida pela torre de resfriamento 102. A água de resfriamento flui em paralelo através dos trocadores de calor 104A e 104B, seguidos, em série, pelos trocadores de calor 104C-104E antes de retornar à torre de resfriamento.

[0062] Em aplicações em que existem múltiplos trocadores de calor em uma rede, um ou múltiplos trocadores de calor (e, opcionalmente, todos os trocadores de calor) podem incluir sensores, conforme descrito em conexão com o trocador de calor 104 na FIG. 1 O controlador 136 pode receber dados dos sensores e determinar uma tendência de eficiência de transferência de calor para cada um dos trocadores de calor conectados. O controlador 136 pode detectar uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor de pelo menos um, e opcionalmente múltiplos, dos trocadores de calor sendo monitorados e controlar a adição do aditivo químico à corrente de água de resfriamento com base na tendência detectada. Por exemplo, o controlador 136 pode controlar a bomba 106 para mudar o tipo e/ou a quantidade de aditivo químico introduzido na corrente de água de resfriamento mediante detecção de uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor (por exemplo, ultrapassando uma quantidade de limiar) de um único trocador de calor. Alternativamente, o controlador 136 pode controlar a bomba 106 para mudar o tipo e/ou a quantidade de aditivo químico introduzido na corrente de água de resfriamento mediante detecção de uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor (por exemplo, ultrapassar uma quantidade de limiar) de múltiplos dos trocadores de calor. Neste último exemplo, a detecção de tendências de eficiência de transferência de calor mudadas para múltiplos trocadores de calor pode indicar que as condições de incrustação estão realmente mudando, em vez de receber dados de sensor errantes de um trocador de calor particular.

[0063] FIG. 3 é um diagrama de fluxo ilustrando um processo de

produção de amônia de exemplo. Como mostrado no exemplo ilustrado, o processo de exemplo inclui múltiplos trocadores de calor de resfriamento através dos quais água de resfriamento pode ser transportada. Um ou mais (por exemplo, todos) destes exemplos de trocadores de calor podem ser monitorados usando as técnicas e os sistemas descritos neste documento, e aditivo químico para a corrente de água de resfriamento controlado com base nas tendências de eficiência de trocador de calor.

[0064] As técnicas descritas nesta divulgação podem ser implementadas, pelo menos em parte, em hardware, software, firmware ou qualquer combinação dos mesmos. Por exemplo, vários aspectos das técnicas descritas podem ser implementados dentro de um ou mais processadores, incluindo um ou mais microprocessadores, processadores de sinal digitais (DSPs), circuitos integrados específicos de aplicação (ASICs), matrizes de portas programáveis em campo (FPGAs) ou quaisquer outros circuitos lógicos integrados ou discretos equivalentes, bem como quaisquer combinações desses componentes. O termo “processador” pode geralmente se referir a qualquer um dos circuitos lógicos anteriores, isoladamente ou em combinação com outros circuitos lógicos ou qualquer outro circuito equivalente. Uma unidade de controle compreendendo hardware também pode executar uma ou mais das técnicas desta divulgação.

[0065] Esses hardware, software e firmware podem ser implementados no mesmo dispositivo ou em dispositivos separados para suportar as várias operações e funções descritas nesta divulgação. Além disso, qualquer das unidades, dos módulos ou dos componentes descritos podem ser implementadas juntos ou separadamente como dispositivos lógicos discretos mas interoperáveis. A representação de diferentes características como módulos ou unidades se destina a destacar diferentes aspectos funcionais e não implica necessariamente que esses módulos ou essas unidades devam ser realizados por componentes de hardware ou software separados. Em vez

disso, a funcionalidade associada a um ou mais módulos ou unidades pode ser executada por componentes separados de hardware ou software ou integrada a componentes comuns ou separados de hardware ou software.

[0066] As técnicas descritas nesta divulgação podem também ser incorporadas ou codificadas em uma mídia legível por computador, como uma mídia de armazenamento legível por computador não transitória que contém instruções. As instruções incorporadas ou codificadas em uma mídia de armazenamento legível por computador podem fazer com que um processador programável, ou outro processador, execute o método, por exemplo, quando as instruções são executadas. Meio de armazenamento legível por computador não transitório pode incluir formas de memória voláteis e/ou não voláteis incluindo, por exemplo, memória de acesso aleatório (RAM), memória somente de leitura (ROM), memória somente de leitura programável (PROM), memória somente de leitura programável apagável (EPROM), memória somente de leitura programável apagável eletronicamente (EEPROM), memória flash, um disco rígido, um CD-ROM, um disquete, um cassete, mídia magnética, mídia óptica ou outra mídia legível por computador.

[0067] Os exemplos a seguir podem fornecer detalhes adicionais sobre sistemas e técnicas de monitoramento e controle de água de resfriamento, de acordo com a divulgação.

EXEMPLOS

EXEMPLO 1 - Planta de Amônia

[0068] Sensores de temperatura foram instalados em um trocador de calor em uma planta de amônia para medir as temperaturas de entrada e saída das correntes de fluxo para o trocador de calor, bem como a taxa de fluxo de água de resfriamento através da entrada do trocador de calor. O trocador de calor era um refrigerador de syngas que passava syngas pelo lado quente ou lado de processo do trocador de calor enquanto água de resfriamento fluía

pelo lado frio do trocador de calor. O trocador de calor era um trocador de casco e tubo de contracorrente. O syngas foi fornecido ao lado do casco do trocador de calor a uma taxa de fluxo alvo de aproximadamente 99.000 lb/h, enquanto a água de resfriamento foi fornecida a uma taxa de fluxo alvo de aproximadamente 1.000.000 lb/h.

[0069] A água de resfriamento foi fornecida de uma torre de resfriamento que tinha uma taxa de recirculação de aproximadamente 80.000 galões/minuto. A torre de resfriamento tinha uma capacidade de aproximadamente 500.000 galões e exibia um diferencial de temperatura de 12 graus Fahrenheit. A água de resfriamento exibiu uma FRC de 0,5 ppm como Cl_2 . A água de resfriamento foi inicialmente controlada com uma combinação de três aditivos químicos: um inibidor de corrosão (Nalco® 3DT129) fornecido na concentração de 35 ppm, um inibidor de incrustação (Nalco® 3DT191) fornecido na concentração de 75 ppm e um inibidor de metal amarelo (Nalco® 3DT199) fornecido a uma concentração de 10 ppm.

[0070] Os dados de temperatura do trocador de calor foram suavizados usando regressão local com uma abrangência de 0,1. FIG. 4 é um gráfico da temperatura de entrada de água de resfriamento (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 200 juntamente com os dados suavizados 202 sobrepostos. FIG. 5 é um gráfico da temperatura de saída de água de resfriamento (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 204 juntamente com os dados suavizados 206 sobrepostos. FIG. 6 é um gráfico da temperatura de entrada de corrente de processo (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 208 juntamente com os dados suavizados 210 sobrepostos. FIG. 7 é um gráfico da temperatura de saída de corrente do processo (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 212 juntamente com os dados suavizados 214 sobrepostos. FIG. 8 é um gráfico mostrando taxas de fluxo de água de resfriamento (galões por minuto) por um

período de tempo de exemplo.

[0071] Os valores e as tendências de eficiência de transferência de calor foram calculados usando os dados de temperatura suavizados produzidos dos sensores de temperatura instalados no trocador de calor. As tendências de eficiência de transferência de calor foram usadas para controlar o sistema de água de resfriamento, incluindo os aditivos químicos introduzidos na água de resfriamento. FIG. 9 é um gráfico mostrando coeficientes de transferência de calor calculados usando os dados de temperatura suavizados durante o período de tempo de exemplo. Os vales agudos nestes dados correspondem a quando a taxa de fluxo de água foi diminuída.

[0072] FIG. 10 mostra coeficientes de transferência de calor calculados para o trocador de calor com base nos dados de temperatura e taxa de fluxo recebidos em uma faixa de datas de exemplo. FIG. 11 mostra o potencial de oxidação-redução (ORP) para a corrente de água de resfriamento através da mesma faixa de datas de exemplo, o que é indicativo da concentração de aditivo químico na água de resfriamento. Os dados nas FIGS. 10 e 11 são setorizados em cinco períodos de análise experimental. No primeiro período, dados estabelecendo uma tendência de eficiência de transferência de calor foram estabelecidos. Os dados mostraram uma tendência de queda na eficiência de transferência de calor. No segundo período, a taxa de fluxo de água de resfriamento foi aumentada, resultando em um aumento no coeficiente de transferência de calor para o trocador de calor proporcional à mudança na taxa de fluxo. No terceiro período, a tendência da eficiência de transferência de calor foi monitorada e observada diminuir.

[0073] Uma tendência de mudança no coeficiente de transferência de calor, particularmente em direção ao final do terceiro período, indicou condições de incrustação aceleradas. Conseqüentemente, ação intervencionista foi iniciada. A água de resfriamento foi avaliada e

bioincrustantes microbianos sugeridos como a causa da incrustação. Na fase 4, a dosagem de biocida foi aumentada para a água de resfriamento, resultando em um aumento no coeficiente de transferência de calor. Para entender se esta melhoria de transferência de calor foi em resposta ao aumento da dosagem de biocida iniciado mediante detecção da tendência de mudança no coeficiente de transferência de calor ou em algum outro fator, a dosagem de biocida foi diminuída na fase 5. Os dados mostram que o coeficiente de transferência de calor diminuiu novamente.

EXEMPLO 2 - Planta de Vinil

[0074] Sensores de temperatura foram instalados em um trocador de calor em uma planta de vinil para medir as temperaturas de entrada e saída das correntes de fluxo para o trocador de calor, bem como a taxa de fluxo de água de resfriamento através da entrada do trocador de calor. O trocador de calor tinha uma corrente de propileno passando através do lado quente ou de processo do trocador de calor enquanto a água de resfriamento fluía através do lado frio do trocador de calor. O trocador de calor era um trocador de casco e tubo de contracorrente. O propileno foi fornecido ao lado do casco do trocador de calor a uma taxa de fluxo alvo de aproximadamente 270.000 lb/h, enquanto a água de resfriamento foi abastecida a uma taxa de fluxo alvo de aproximadamente 4.600.000 lb/h.

[0075] A água de resfriamento foi fornecida de uma torre de resfriamento que tinha uma taxa de recirculação de aproximadamente 85.000 galões/minuto. A torre de resfriamento tinha uma capacidade de aproximadamente 1.000.000 galões e exibiu um diferencial de temperatura de 10 graus Fahrenheit. A água de resfriamento exibiu uma FRC de 0,5 ppm como Cl_2 . A água de resfriamento foi inicialmente controlada com uma combinação de três aditivos químicos: um inibidor de corrosão (Nalco® 3DT177) fornecido na concentração de 37 ppm, um inibidor de incrustação (Nalco® 3DT390) fornecido na concentração de 28 ppm e um inibidor de

metal amarelo (Nalco® 3DT197) fornecido a uma concentração de 10 ppm.

[0076] Os dados de temperatura do trocador de calor foram suavizados usando regressão local com uma abrangência de 0,05. FIG. 12 é um gráfico da temperatura de entrada de água de resfriamento (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 220 juntamente com os dados suavizados 222 sobrepostos. FIG. 13 é um gráfico da temperatura de saída de água de resfriamento (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 224 juntamente com os dados suavizados 226 sobrepostos. FIG. 14 é um gráfico da temperatura de entrada de corrente de processo (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 228 juntamente com os dados suavizados 230 sobrepostos. FIG. 15 é um gráfico da temperatura de saída de corrente do processo (graus Fahrenheit) versus tempo, mostrando os dados brutos de medição 232 juntamente com os dados suavizados 234 sobrepostos. FIG. 16 é um gráfico mostrando taxas de fluxo de água de resfriamento (galões por minuto) por um período de tempo de exemplo. A mudança escalonada na taxa de fluxo de água foi causada por uma diminuição intencional no fluxo de água.

[0077] Os valores e as tendências de eficiência de transferência de calor foram calculados usando os dados de temperatura suavizados produzidos dos sensores de temperatura instalados no trocador de calor. As tendências de eficiência de transferência de calor foram usadas para controlar o sistema de água de resfriamento, incluindo os aditivos químicos introduzidos na água de resfriamento. FIG. 17 é um gráfico mostrando coeficientes de transferência de calor calculados usando os dados de temperatura suavizados durante o período de tempo de exemplo.

[0078] Neste exemplo, a tendência do coeficiente de transferência de calor durante o período de medição foi substancialmente plana. No entanto, taxas de fluxo de água de resfriamento foram observadas diminuir progressivamente durante o período de monitoramento. Esta combinação de

comportamento sugeriu detritos/lodo no trocador de calor, o que não seria efetivamente tratado apenas por adição de produtos químicos. Em vez disso, a lavagem do trocador de calor e/ou a limpeza do trocador podem ser necessárias para remover os detritos/lodo acumulados. Esta conclusão dos dados foi confirmada durante uma interrupção da instalação quando o trocador de calor foi aberto e inspecionado visualmente.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar tratamento de água de resfriamento, caracterizado pelo fato de que compreende:

receber dados de uma pluralidade de sensores (126, 128, 130, 132) indicativos de pelo menos uma temperatura de uma corrente de água de resfriamento (116) entrando em um trocador de calor (104), uma temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104), uma temperatura de uma corrente de processo (118) entrando no trocador de calor (104) e uma temperatura da corrente de processo (118) saindo do trocador de calor (104);

determinar uma eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) com base nos dados recebidos da pluralidade de sensores (126, 128, 130, 132);

estabelecer uma tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) durante um período de tempo;

detectar uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor; e

controlar a adição de um aditivo químico na corrente de água de resfriamento (116) em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104).

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que:

estabelecer a tendência de eficiência de transferência de calor compreende adequar uma curva de ordem simples à eficiência de transferência de calor determinada para o trocador de calor (104) durante o período de tempo, a curva de ordem simples tendo uma inclinação; e

detectar uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor compreende determinar uma mudança na inclinação igual ou superior a uma quantidade de limiar.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a quantidade de limiar varia de 1 por cento a 25 por cento.

4. Método de acordo com a reivindicação 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que a quantidade de limiar varia de 5 por cento a 20 por cento.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que estabelecer a tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) durante o período de tempo compreende determinar a eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) pelo menos uma vez por dia durante o período de tempo.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que determinar a eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) compreende determinar a eficiência de transferência de calor de acordo com uma equação:

$$\text{Valor U: } \frac{\dot{m} C_p \Delta T_{\text{água}}}{\Delta T_{LMTD} \times Tr. \text{Calor} \times \text{Área} \times F_t}$$

em que o Valor de U é a eficiência de transferência de calor, m é a massa da corrente de água de resfriamento (116) por unidade de tempo, C_p é o calor específico da corrente de água de resfriamento (116), $\Delta T_{\text{água}}$ é uma diferença entre a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104) e a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) entrando em um trocador de calor (104), Tr. Calor. Área é uma quantidade de área de superfície do trocador de calor (104) sobre a qual energia térmica é transferida entre a corrente de processo (118) e a corrente da água de resfriamento (116), F_t é um fator de correção correspondente a uma geometria da troca de calor e ΔT_{LMTD} é uma diferença de temperatura média logarítmica calculada usando uma equação a seguir se a corrente de água de resfriamento (116) e a corrente de processo (118) fluírem em uma direção contracorrente:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{processo,entrada} - t_{\acute{a}gua,saída}) - (T_{processo,saída} - t_{\acute{a}gua,entrada})}{\log_e \frac{T_{processo,entrada} - t_{\acute{a}gua,saída}}{T_{processo,saída} - t_{\acute{a}gua,entrada}}}$$

ou calculado usando uma equação a seguir, se a corrente de água de resfriamento (116) e a corrente de processo (118) fluírem em uma direção de cocorrente:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{processo,entrada} - t_{\acute{a}gua,entrada}) - (T_{processo,saída} - t_{\acute{a}gua,saída})}{\log_e \frac{T_{processo,entrada} - t_{\acute{a}gua,entrada}}{T_{processo,saída} - t_{\acute{a}gua,saída}}}$$

em que o $T_{Processo,entrada}$ é a temperatura da corrente de água de processo entrando no trocador de calor (104), $T_{Processo,saída}$ é a temperatura da corrente de processo (118) saindo do trocador de calor (104), $t_{\acute{a}gua,entrada}$ é a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) entrando no trocador de calor (104) e $t_{\acute{a}gua,saída}$ é a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104).

7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o período de tempo varia de 5 dias a 100 dias.

8. Método de acordo qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o período de tempo varia de 10 dias a 45 dias.

9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o período de tempo começa mediante o trocador de calor (104) ser colocado em serviço em seguida a limpeza.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o aditivo químico é injetado em uma torre de resfriamento (102) a montante de uma entrada do trocador de calor (104) que recebe a corrente de água de resfriamento (116) entrando no trocador de calor (104).

11. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações

anteriores, caracterizado pelo fato de que controlar a adição do aditivo químico compreende aumentar a taxa de fluxo à qual o aditivo químico é introduzido na corrente de água de resfriamento (116).

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que controlar a adição do aditivo químico compreende aumentar uma concentração do aditivo químico na água de resfriamento pelo menos até a tendência de eficiência de transferência de calor exibir uma inflexão de uma tendência descendente para uma tendência ascendente.

13. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que compreende ainda aumentar uma taxa de fluxo da água de resfriamento em resposta à detecção da mudança na tendência de eficiência de transferência de calor.

14. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que compreende ainda determinar um tipo de incrustante presente na água de resfriamento e selecionar o aditivo químico com base no tipo de incrustante determinado.

15. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que compreende ainda suavizar os dados correspondentes à temperatura da corrente de água de resfriamento (116) entrando no trocador de calor (104), a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104), a temperatura da corrente de processo (118) entrando no trocador de calor (104) e a temperatura da corrente de processo (118) saindo do trocador de calor (104),

em que determinar a eficiência de transferência de calor compreende determinar a eficiência de transferência de calor usando valores de temperatura suavizados.

16. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o aditivo químico é selecionado do

grupo consistindo em um inibidor de incrustação, um inibidor de corrosão, um biocida e combinações dos mesmos.

17. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que:

receber dados da pluralidade de sensores (126) compreende receber dados da pluralidade de sensores (126) para cada um dos múltiplos trocadores de calor (104A-D) que recebem a corrente de água de resfriamento (116),

determinar a eficiência de transferência de calor compreende determinar a eficiência de transferência de calor para cada um dos múltiplos trocadores de calor (104A-D);

estabelecer a tendência de eficiência de transferência de calor compreende estabelecer a tendência de eficiência de transferência de calor para cada um dos múltiplos trocadores de calor (104A-D); e

detectar a mudança na tendência de eficiência de transferência de calor compreende detectar a mudança na tendência de eficiência de transferência de calor para pelo menos um dos múltiplos trocadores de calor (104A-D).

18. Método de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que:

detectar a mudança na tendência de eficiência de transferência de calor compreende detectar a mudança na tendência de eficiência de transferência de calor para cada um dos múltiplos trocadores de calor (104A-D), e

controlar a adição do aditivo químico na corrente de água de resfriamento (116) compreende controlar a adição do aditivo químico na corrente de água de resfriamento (116) em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor para cada um dos múltiplos trocadores de calor (104A-D).

19. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que a corrente de processo (118) compreende petróleo bruto ou um derivado do mesmo.

20. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o trocador de calor (104) é integrado a um processo de produção de amônia.

21. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o trocador de calor (104) é selecionado do grupo que consiste em um trocador de calor de casco e tubo e um trocador de calor de placas.

22. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que a corrente de processo (118) compreende material incrustante que se deposita no trocador de calor (104) fazendo a eficiência de transferência de calor diminuir ao longo do período de tempo, a corrente de água de resfriamento (116) compreende material incrustante que se deposita no trocador de calor (104), fazendo a eficiência de transferência de calor diminuir ao longo do período, e o material incrustante depositado pela corrente de processo (118) causa pelo menos 75% da redução na eficiência de transferência de calor ao longo do período de tempo.

23. Sistema para realização do método como definido na reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende:

uma torre de resfriamento (102) que reduz uma temperatura de uma corrente de água de resfriamento (116) através de resfriamento evaporativo;

um trocador de calor (104) tendo uma entrada de água de resfriamento (126), uma saída de água de resfriamento (128), uma entrada de corrente de processo (130) e uma saída de corrente de processo (132);

uma pluralidade de sensores posicionada para medir uma temperatura de uma corrente de água de resfriamento (116) entrando no

trocador de calor (104) através da entrada de água de resfriamento (126), uma temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104) através da saída de água de resfriamento (128), uma temperatura de uma corrente de processo (118) entrando no trocador de calor (104) através da entrada de corrente de processo (130) e uma temperatura da corrente de processo (118) saindo do trocador de calor (104) através da saída de corrente de processo (132);

uma bomba (106) posicionada para injetar um aditivo químico na corrente de água de resfriamento (116); e

um controlador (136) acoplado comunicativamente à pluralidade de sensores e à bomba (106) e configurado para: receber dados da pluralidade de sensores, determinar uma eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) com base nos dados recebidos da pluralidade de sensores, estabelecer uma tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) por um período de tempo, detectar uma mudança na tendência de eficiência de transferência de calor e controlar a bomba (106) em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104).

24. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que o controlador é configurado para:

estabelecer a tendência de eficiência de transferência de calor adequando pelo menos uma curva de ordem simples à eficiência de transferência de calor determinada para o trocador de calor (104) durante o período de tempo, a curva de ordem simples tendo uma inclinação; e

detectar a mudança na tendência de eficiência de transferência de calor determinando pelo menos uma mudança na inclinação igual ou superior a uma quantidade de limiar.

25. Sistema de acordo com a reivindicação 23 ou 24, caracterizado pelo fato de que o controlador (136) é configurado para

estabelecer a tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) ao longo do período de tempo determinando pelo menos a eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) pelo menos uma vez por dia durante o período de tempo.

26. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 23 a 25, caracterizado pelo fato de que o período varia de 5 dias a 100 dias e começa mediante o trocador de calor (104) ser colocado em serviço em seguida a limpeza.

27. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 23 a 26, caracterizado pelo fato de que o controlador (136) é configurado para determinar a eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) determinando pelo menos a eficiência de transferência de calor de acordo com uma equação:

$$\text{Valor U: } \frac{\dot{m} C_p \Delta T_{\text{água}}}{\Delta T_{LMTD} \times Tr. \text{Calor} \times \text{Área} \times F_t}$$

em que o Valor de U é a eficiência de transferência de calor, m é a massa da corrente de água de resfriamento (116) por unidade de tempo, C_p é o calor específico da corrente de água de resfriamento (116), $\Delta T_{\text{água}}$ é uma diferença entre a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104) e a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) entrando em um trocador de calor (104), Tr. Calor. Área é uma quantidade de área de superfície do trocador de calor (104) sobre a qual energia térmica é transferida entre a corrente de processo (118) e a corrente da água de resfriamento (116), F_t é um fator de correção correspondente a uma geometria da troca de calor e ΔT_{LMTD} é uma diferença de temperatura média logarítmica calculada usando uma equação a seguir se a corrente de água de resfriamento (116) e a corrente de processo (118) fluírem em uma direção contracorrente:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{\text{processo, entrada}} - t_{\text{água, saída}}) - (T_{\text{processo, saída}} - t_{\text{água, entrada}})}{\log_e \frac{T_{\text{processo, entrada}} - t_{\text{água, saída}}}{T_{\text{processo, saída}} - t_{\text{água, entrada}}}}$$

ou calculado usando uma equação a seguir, se a corrente de água de resfriamento (116) e a corrente de processo (118) fluírem em uma direção de cocorrente:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{\text{processo,entrada}} - t_{\text{água,entrada}}) - (T_{\text{processo,saida}} - t_{\text{água,saida}})}{\log_e \frac{T_{\text{processo,entrada}} - t_{\text{água,entrada}}}{T_{\text{processo,saida}} - t_{\text{água,saida}}}}$$

em que o $T_{\text{Processo,entrada}}$ é a temperatura da corrente de água de processo entrando no trocador de calor (104), $T_{\text{Processo,saida}}$ é a temperatura da corrente de processo (118) saindo do trocador de calor (104), $t_{\text{água,entrada}}$ é a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) entrando no trocador de calor (104) e $t_{\text{água,saida}}$ é a temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104).

28. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 23 a 27, caracterizado pelo fato de que o controlador (136) é configurado para controlar a bomba (106) em resposta à mudança detectada na tendência de eficiência de transferência de calor para o trocador de calor (104) pelo menos aumentando uma taxa de fluxo na qual o aditivo químico é introduzido na corrente de água de resfriamento (116).

29. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 23 a 28, caracterizado pelo fato de que o controlador (136) é configurado para controlar a adição do aditivo químico pelo menos aumentando uma concentração do aditivo químico na água de resfriamento pelo menos até a tendência de eficiência de transferência de calor exibir uma inflexão de uma tendência descendente para uma tendência ascendente.

30. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 23 a 29, caracterizado pelo fato de que o controlador (136) é ainda configurado para suavizar os dados correspondentes à temperatura da corrente de água de resfriamento (116) entrando no trocador de calor (104), à temperatura da corrente de água de resfriamento (116) saindo do trocador de calor (104), à temperatura da corrente de processo (118) entrando no trocador

de calor (104) e à temperatura da corrente de processo (118) saindo do trocador de calor (104), e

em que o controlador (136) é configurado para determinar a eficiência de transferência de calor pelo menos determinando a eficiência de transferência de calor usando valores de temperatura suavizados.

31. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 23 a 30, caracterizado pelo fato de que o trocador de calor (104) é um trocador de calor de casco e tubo.

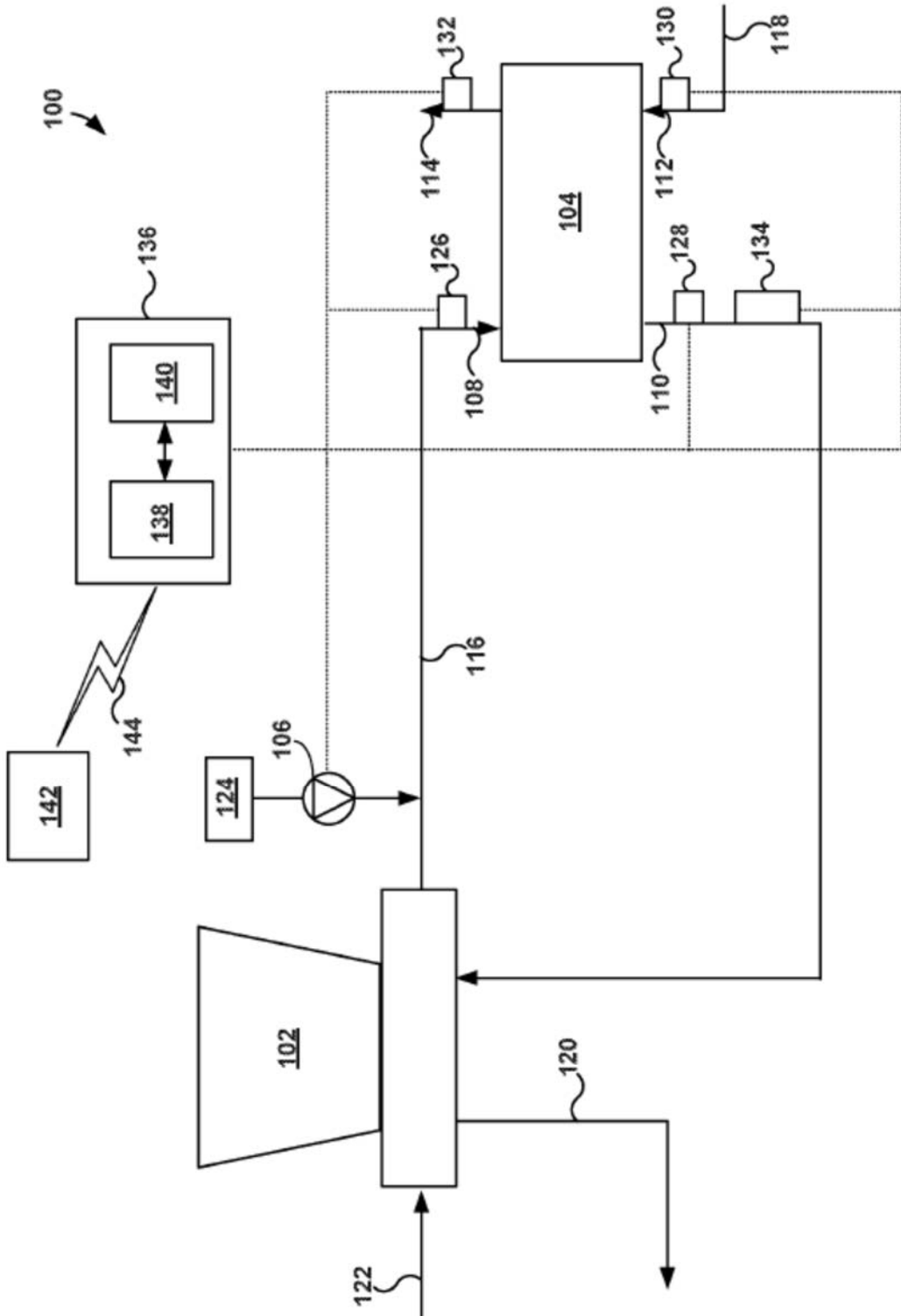


FIG. 1

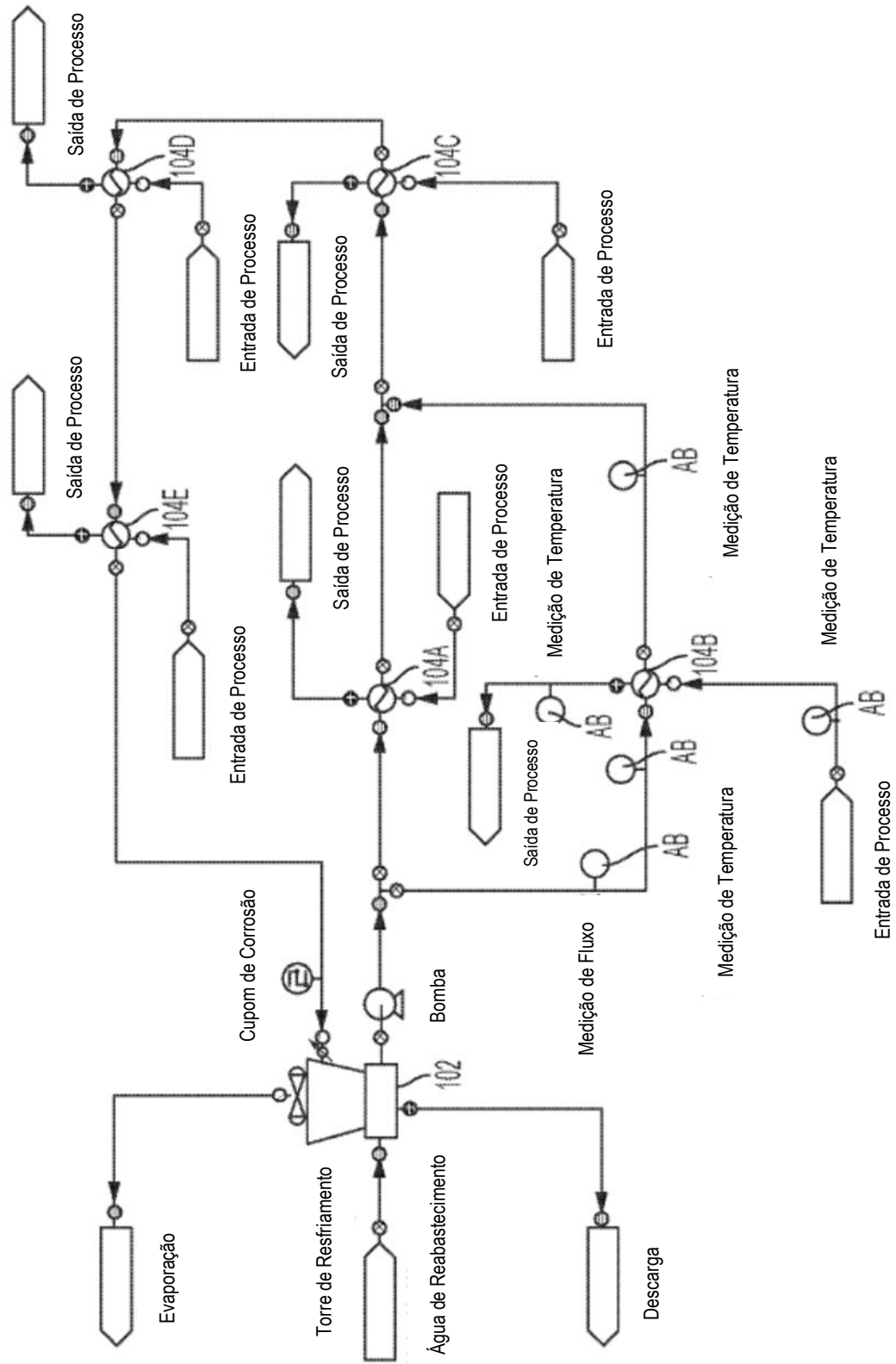


FIG. 2

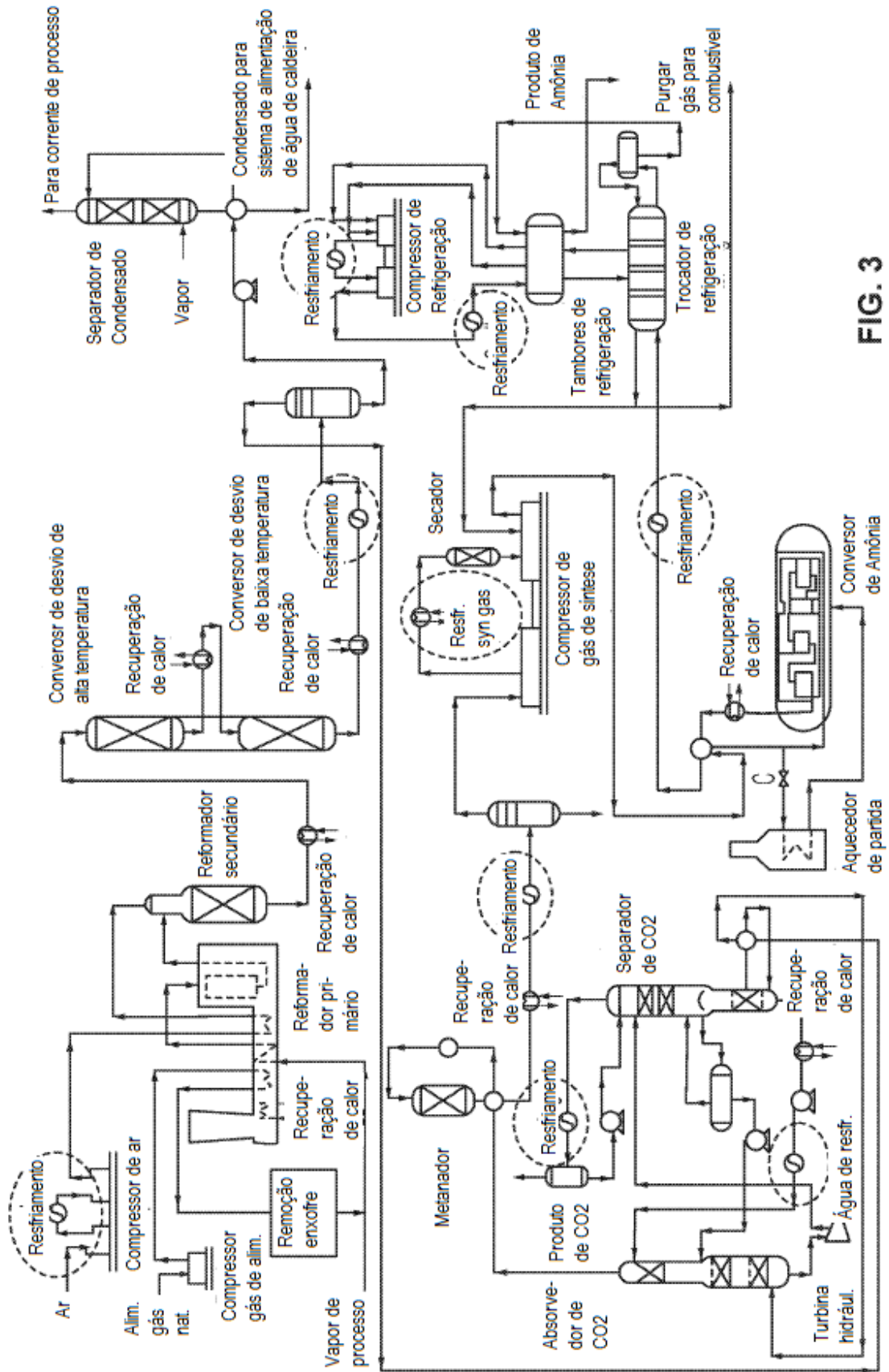


FIG. 3

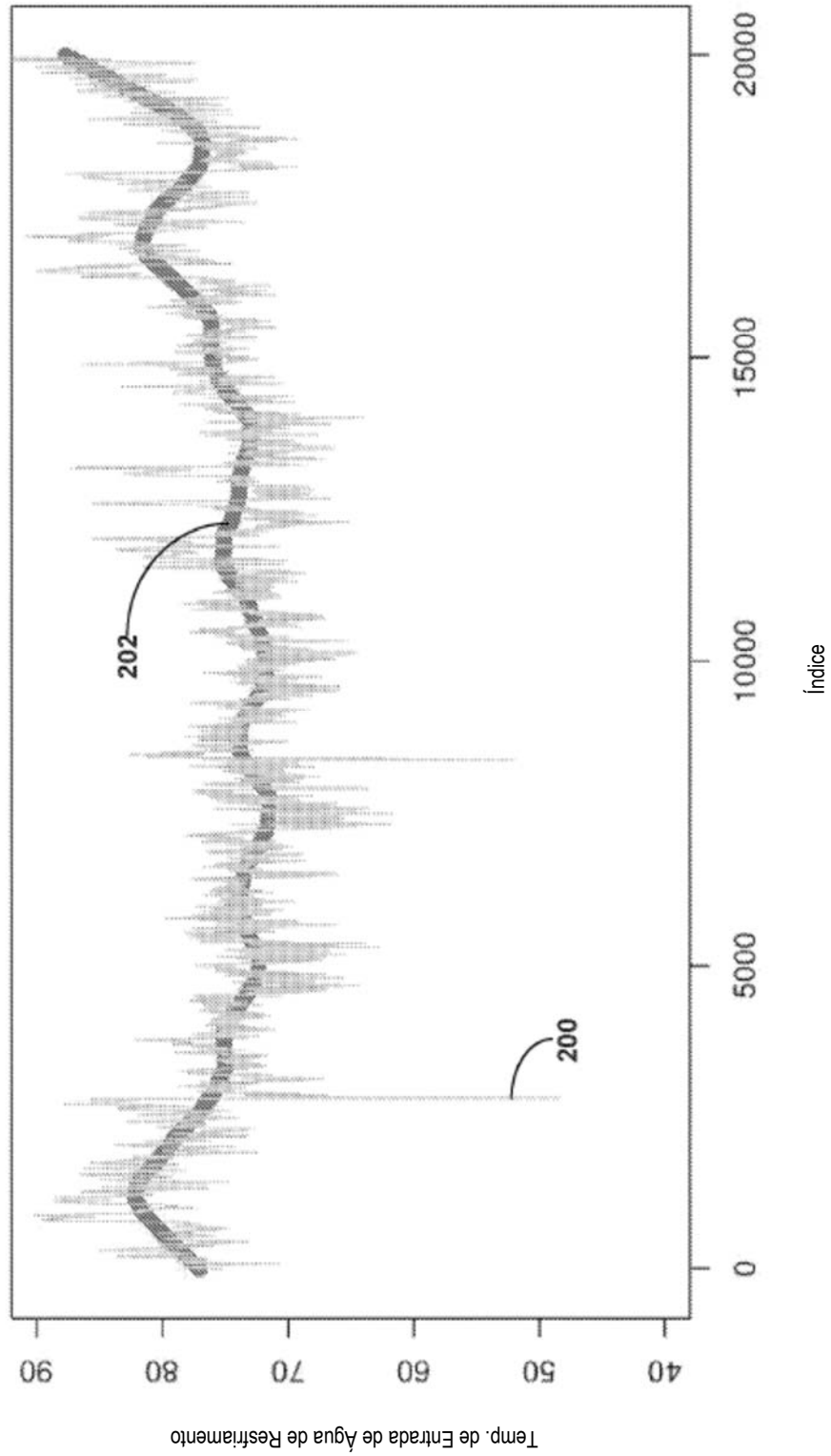


FIG. 4

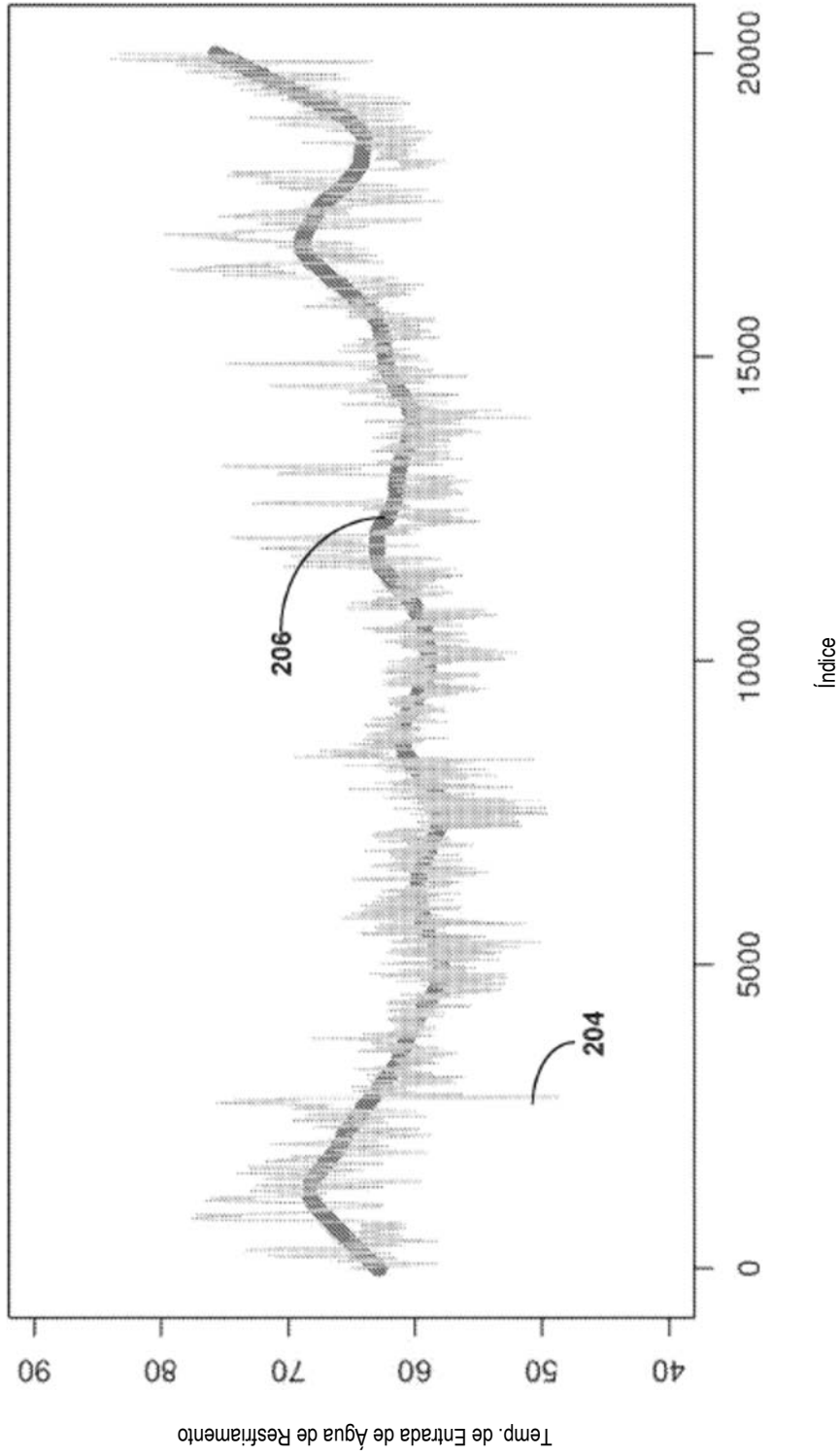


FIG. 5

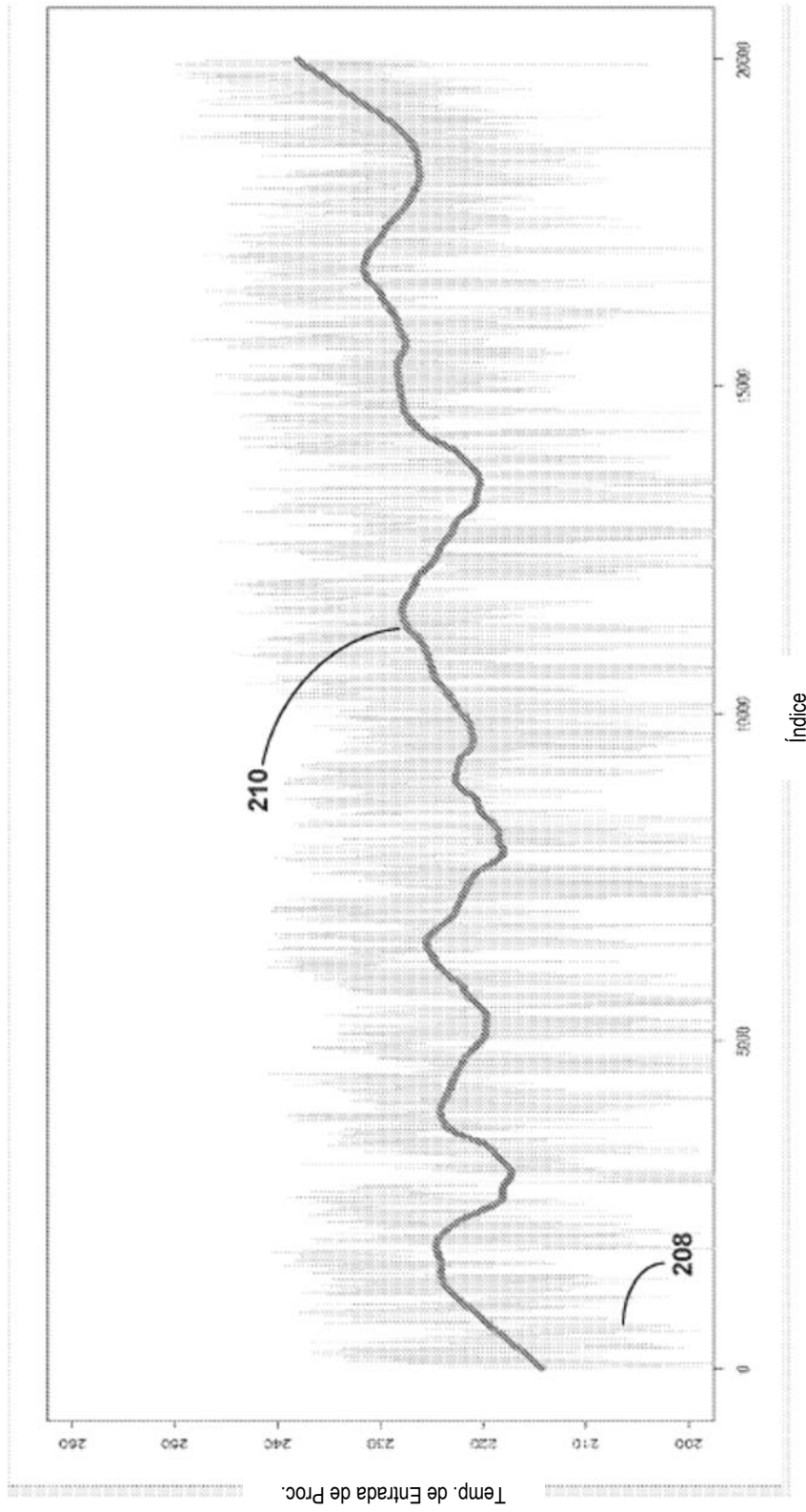


FIG. 6

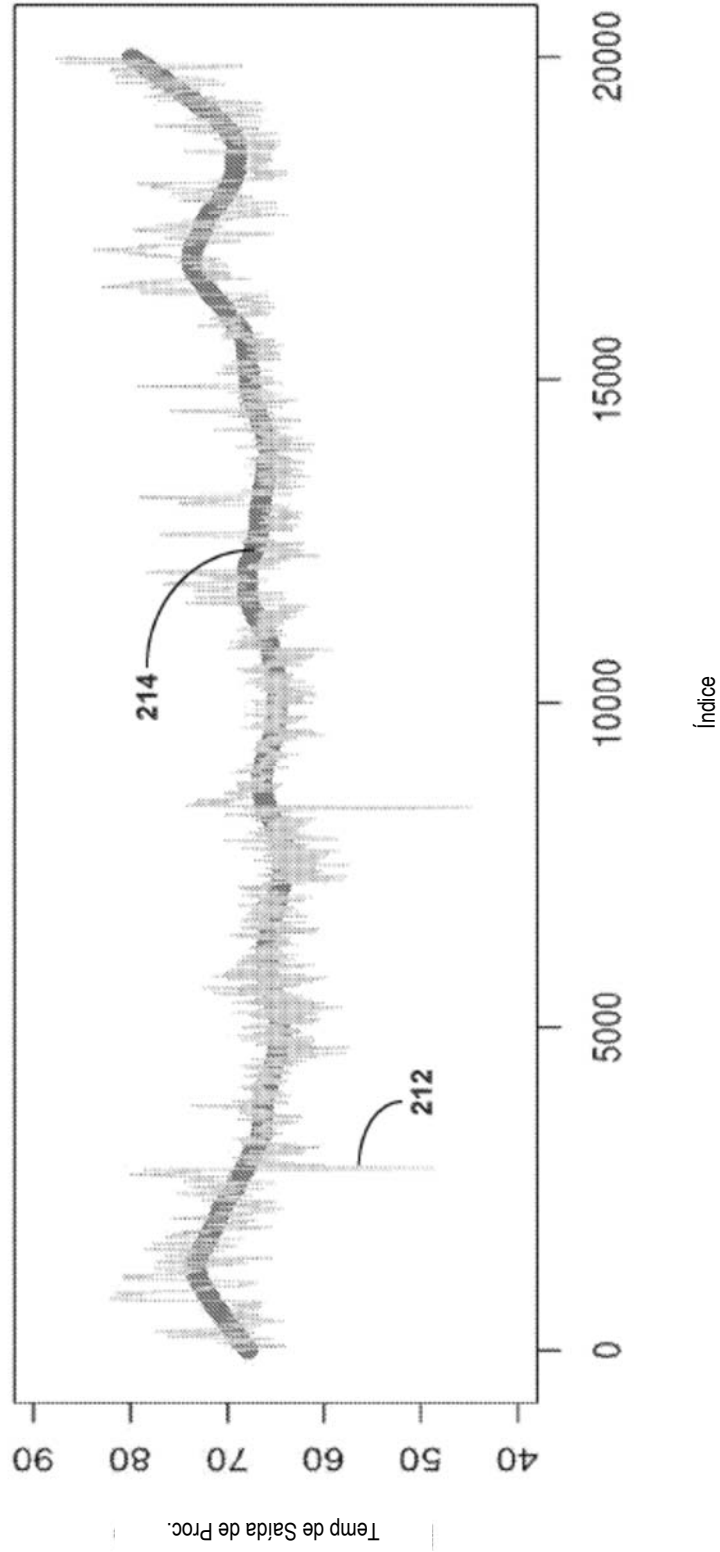


FIG. 7

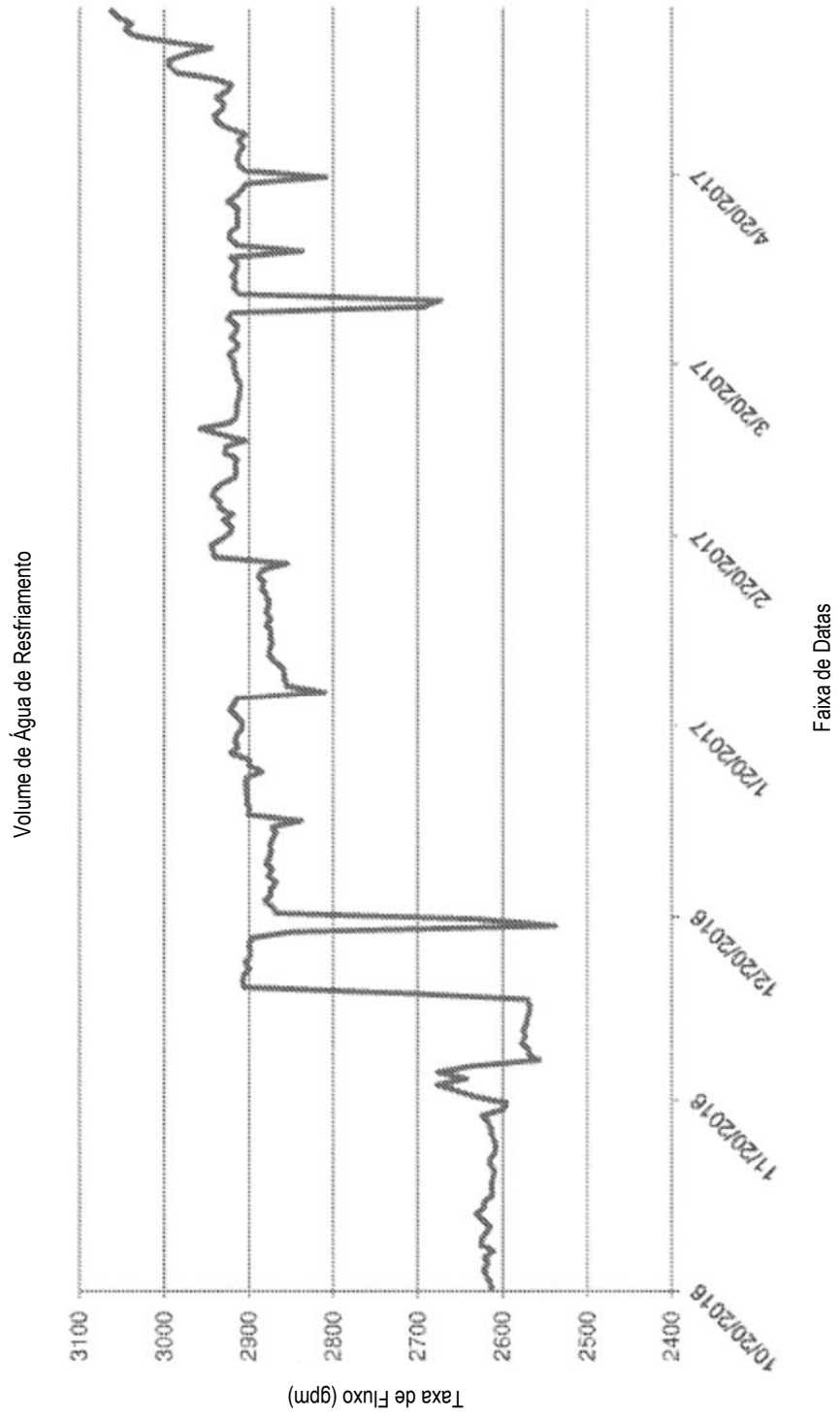


FIG. 8

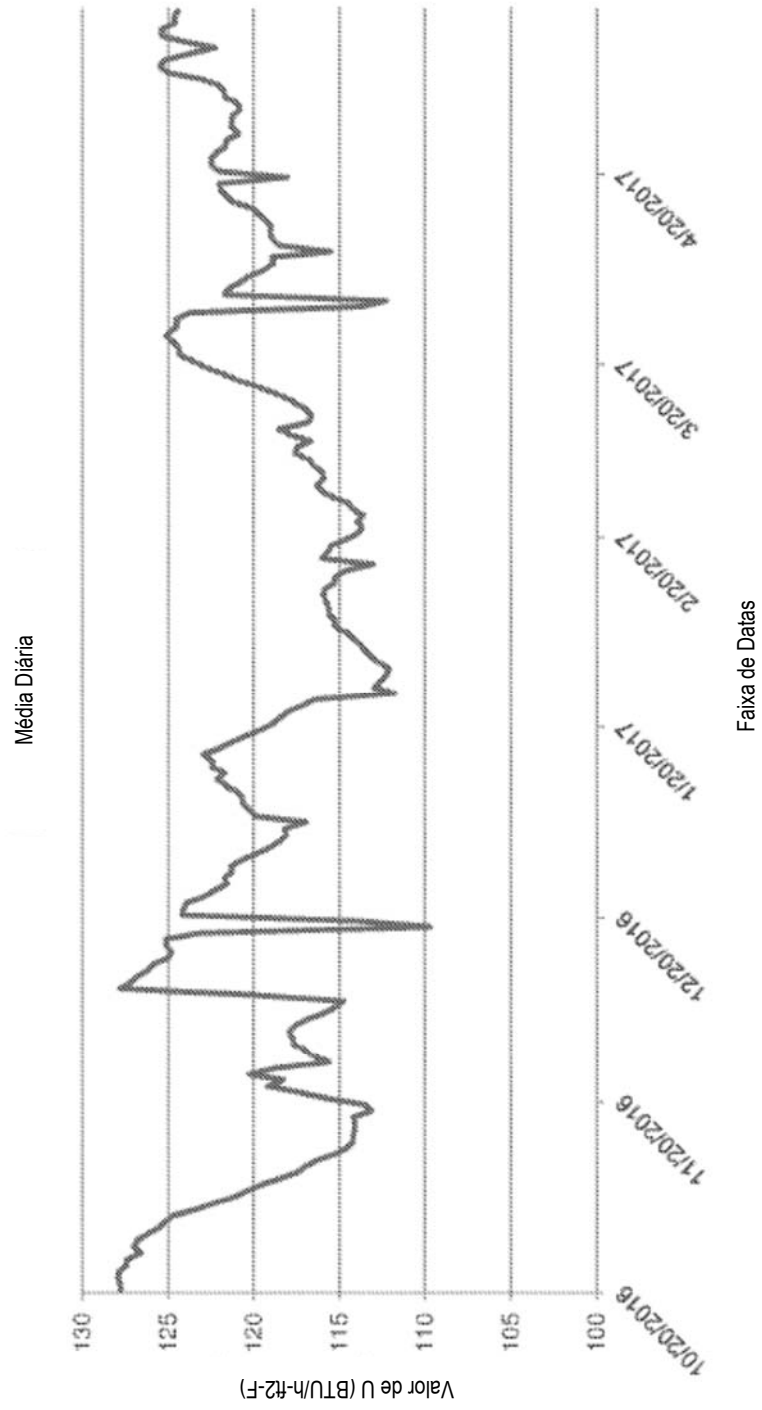


FIG. 9

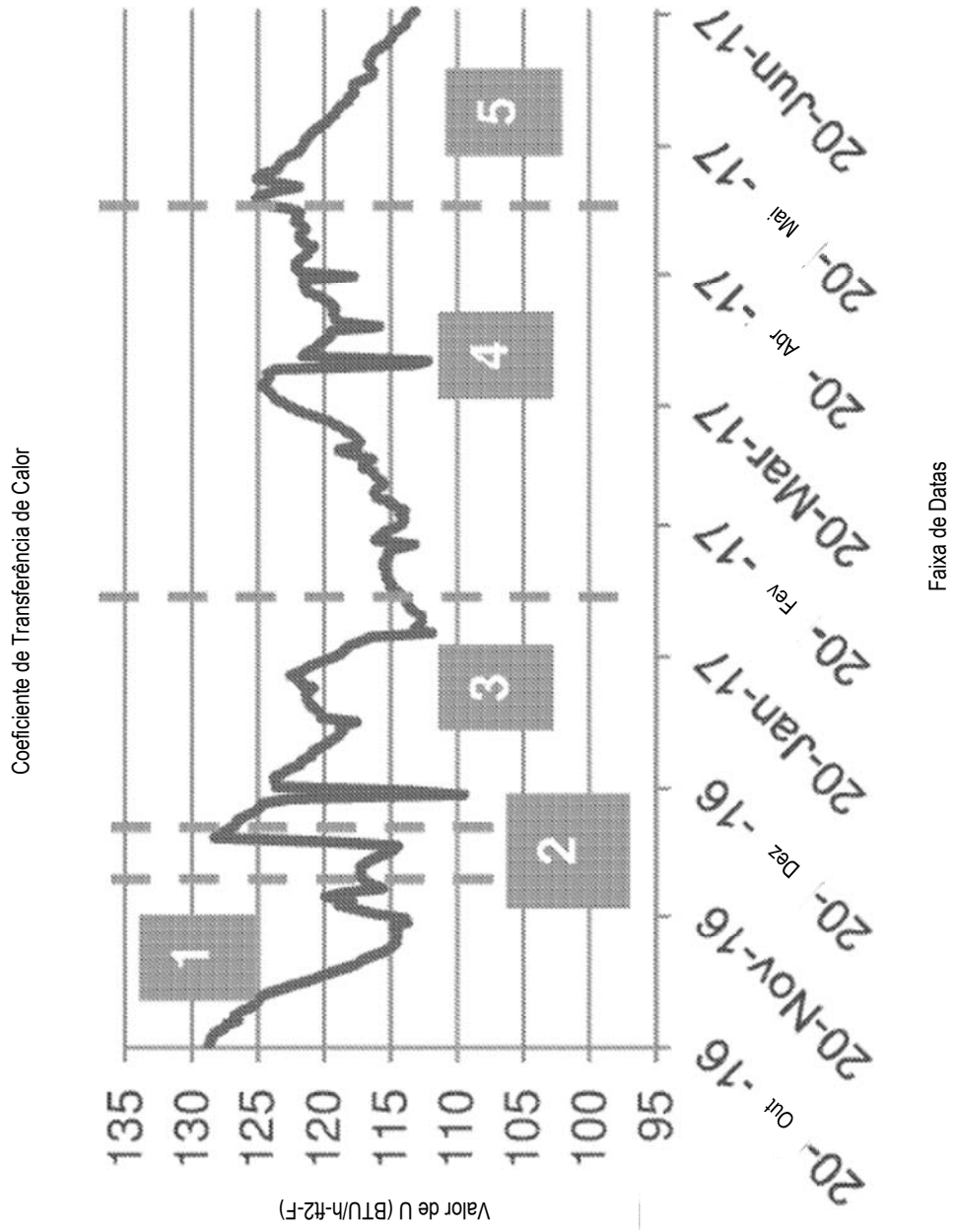


FIG. 10

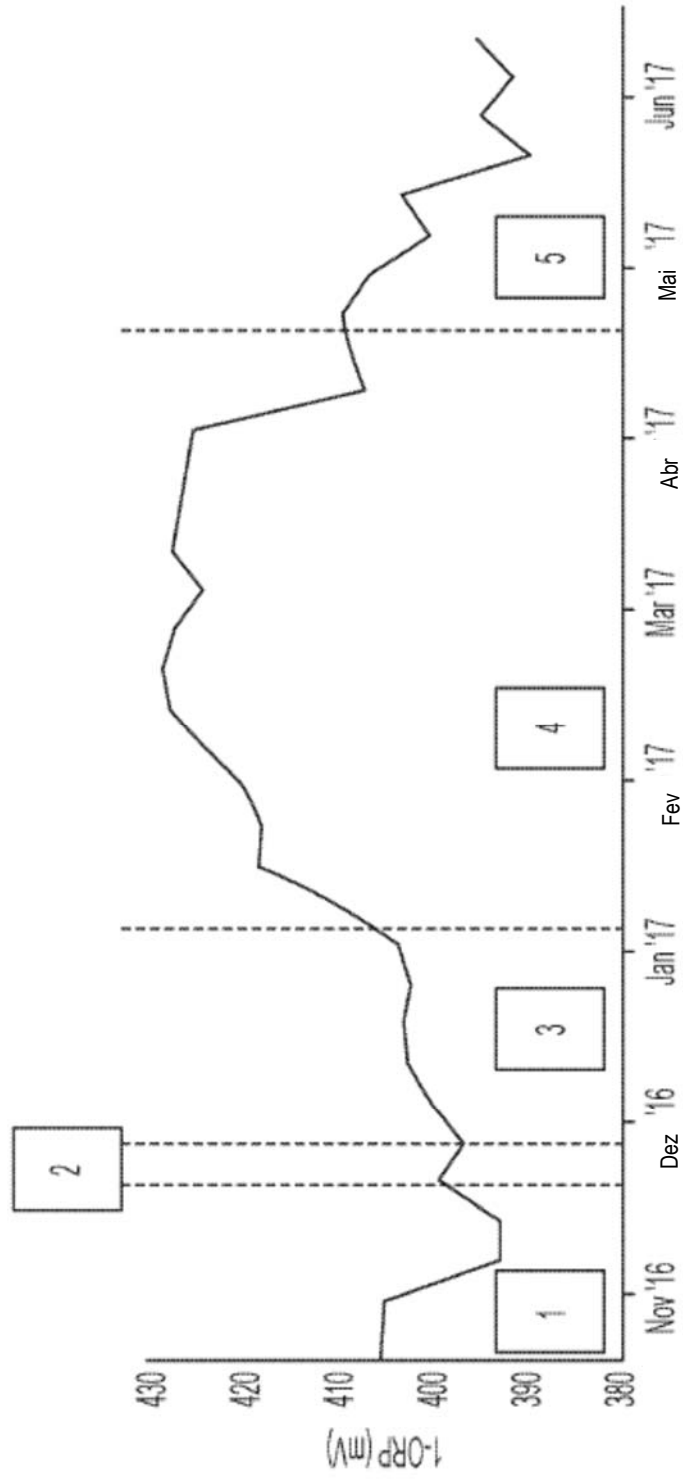


FIG. 11

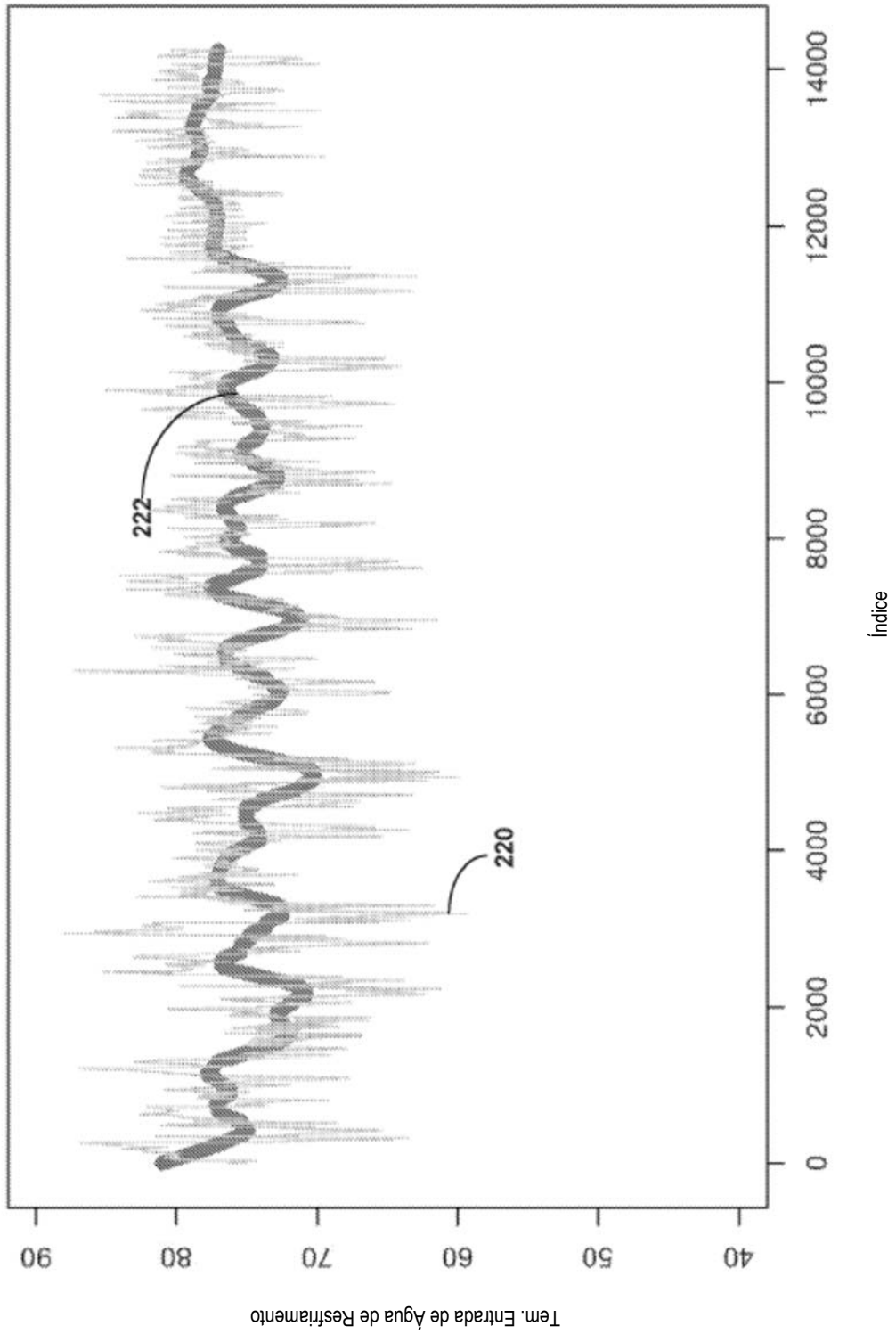


FIG. 12

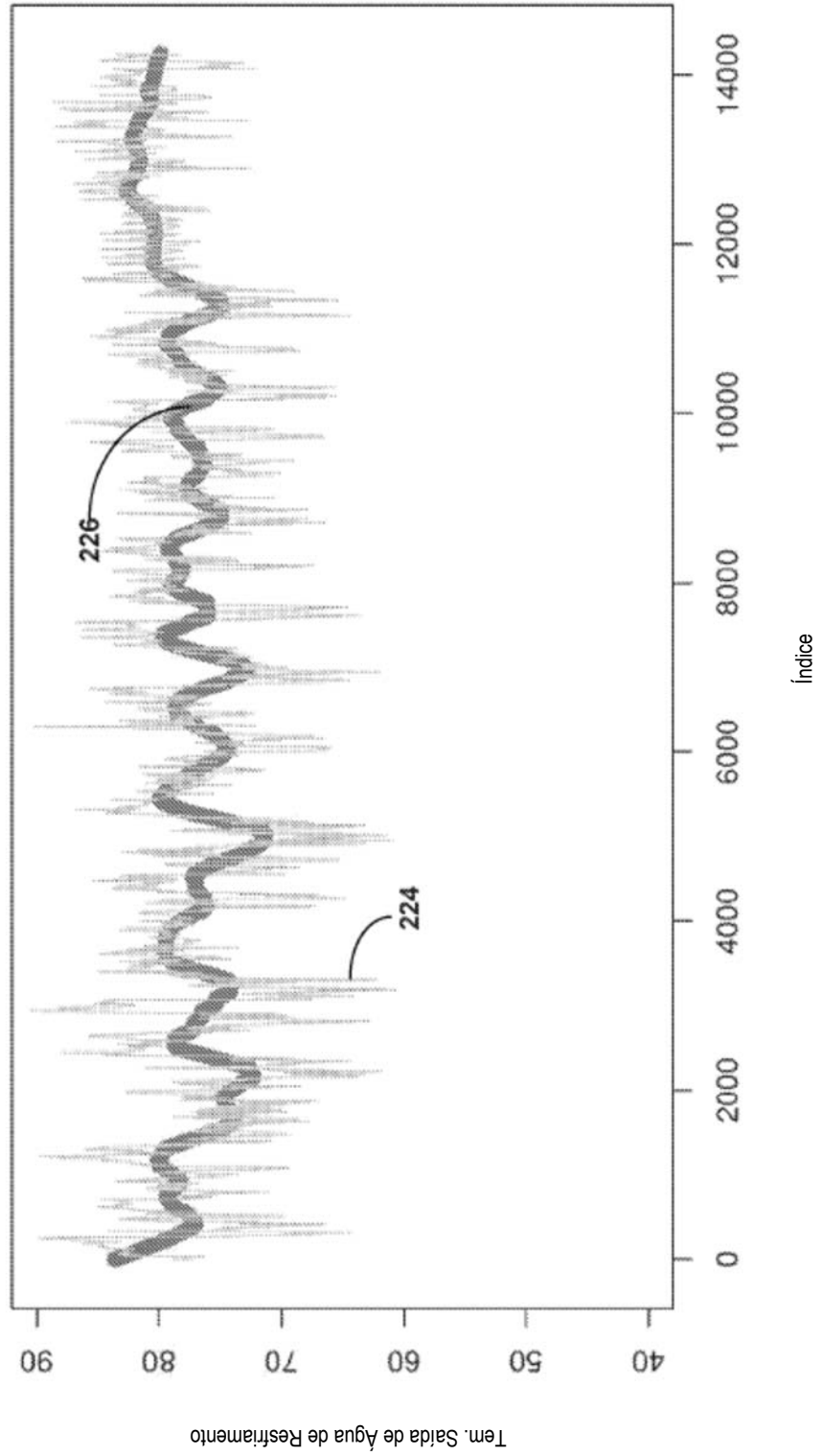


FIG. 13

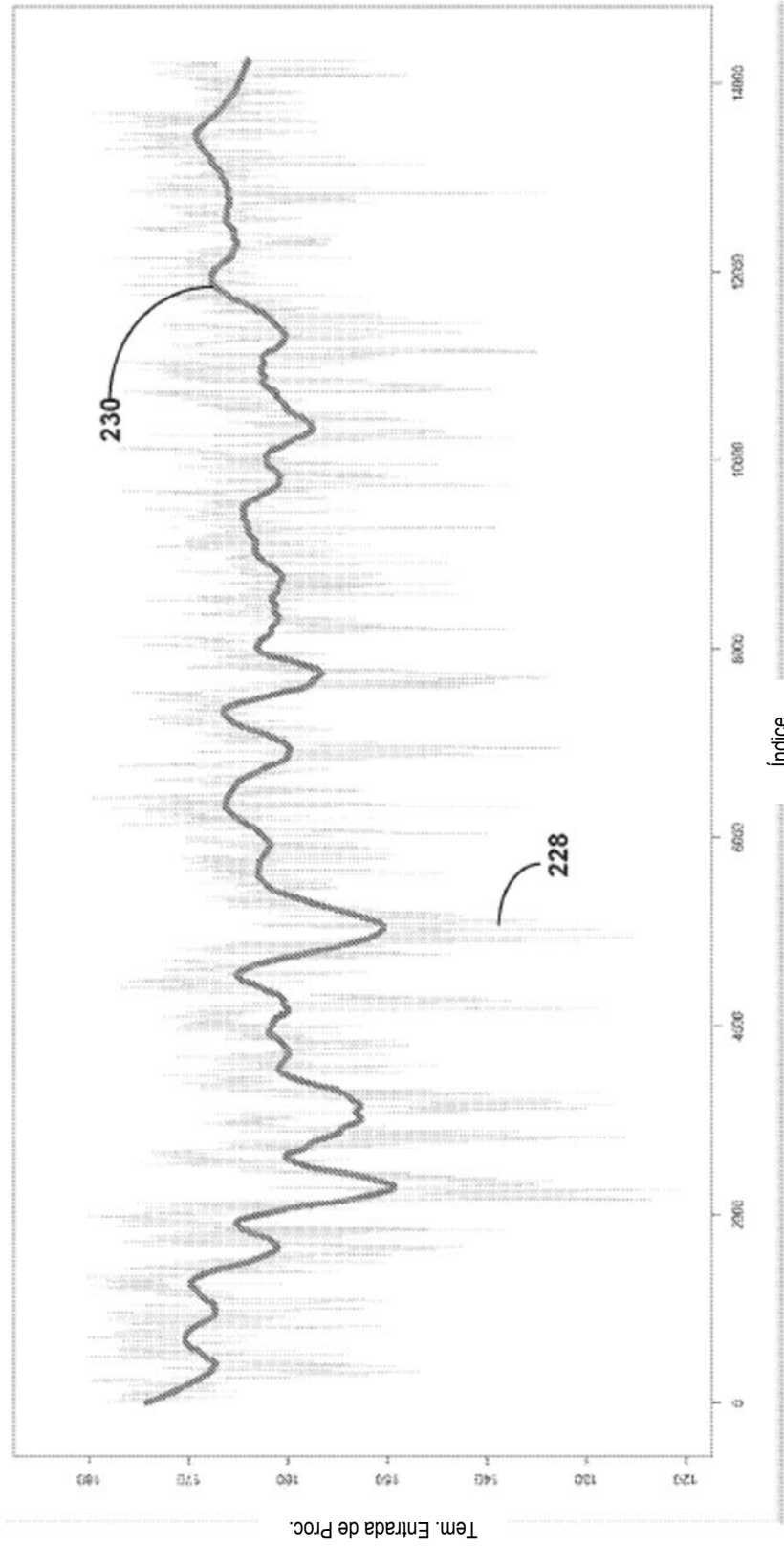


FIG. 14

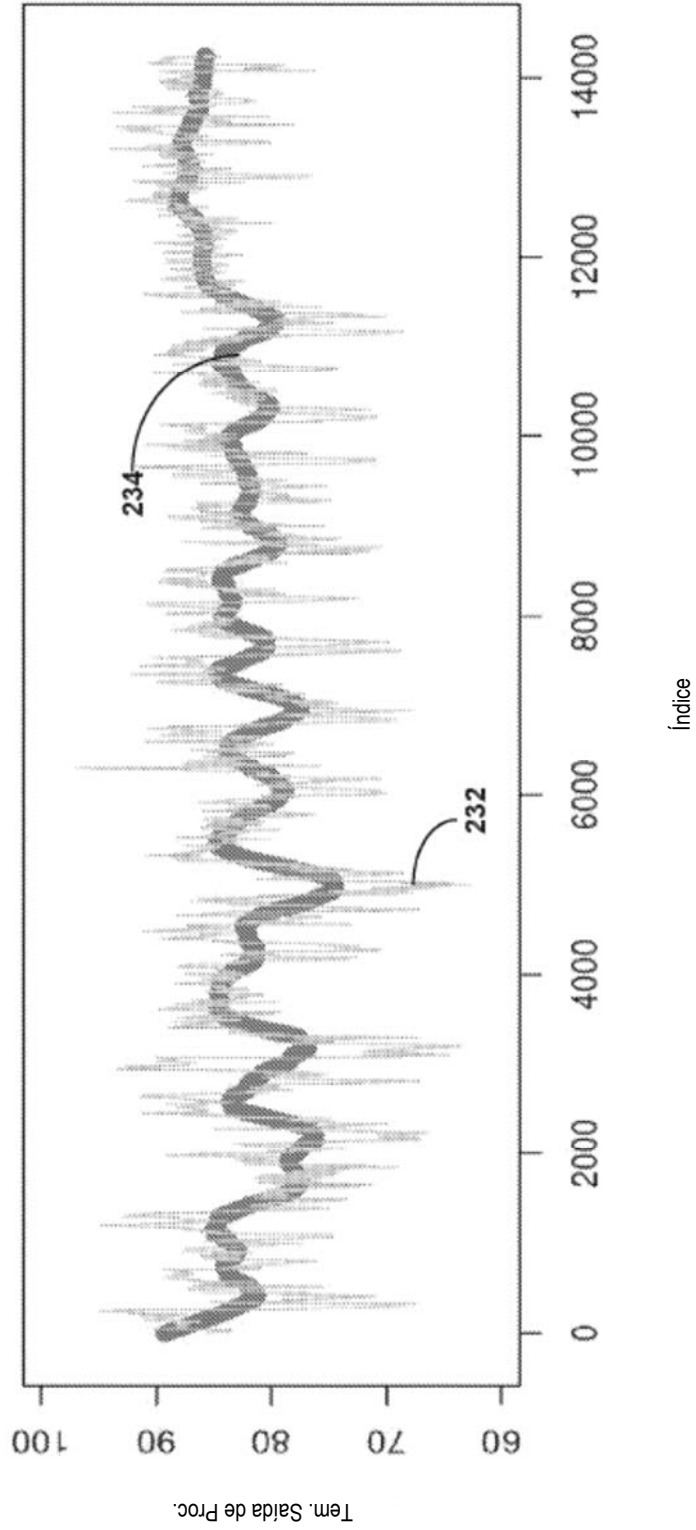


FIG. 15

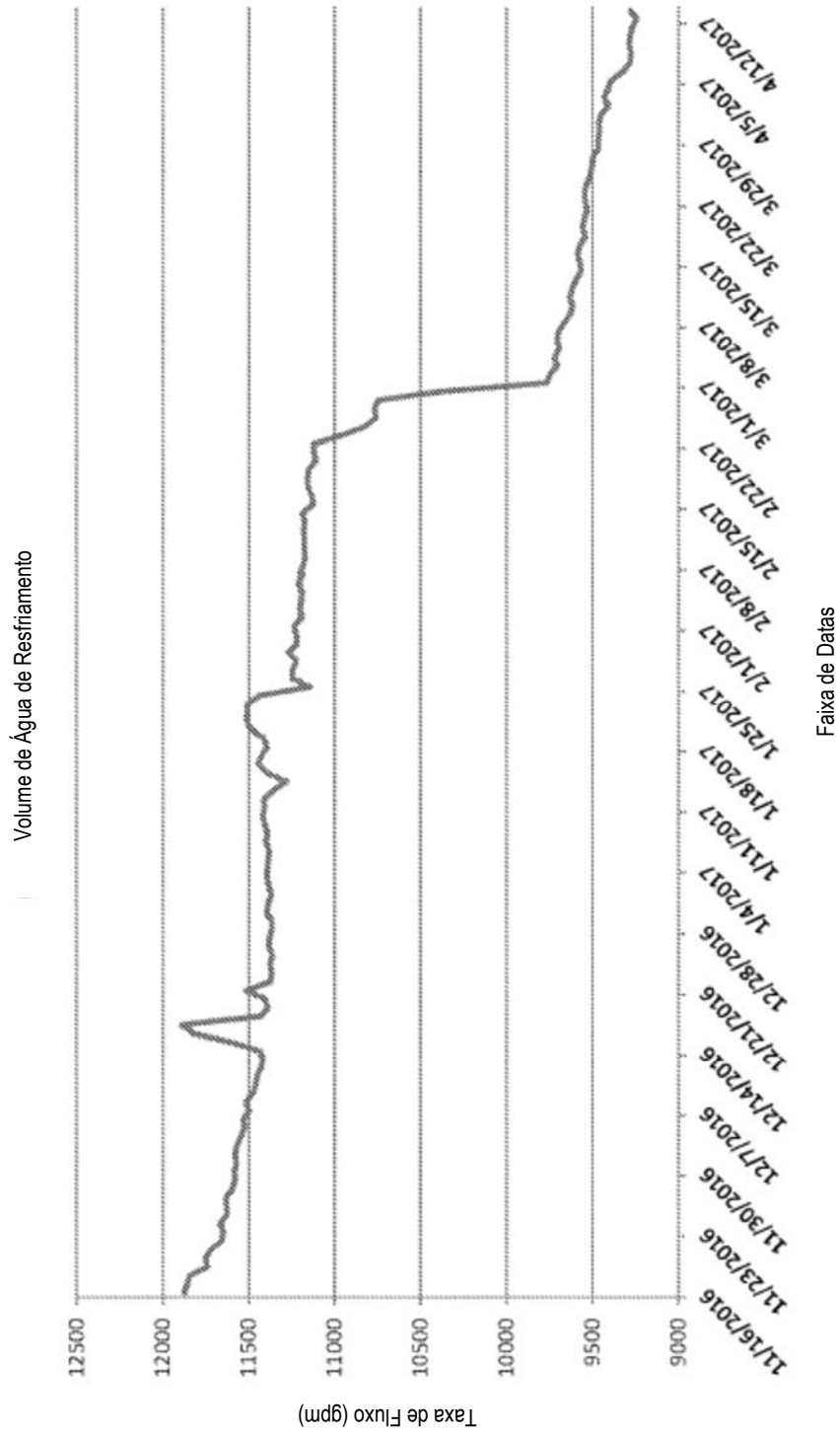


FIG. 16

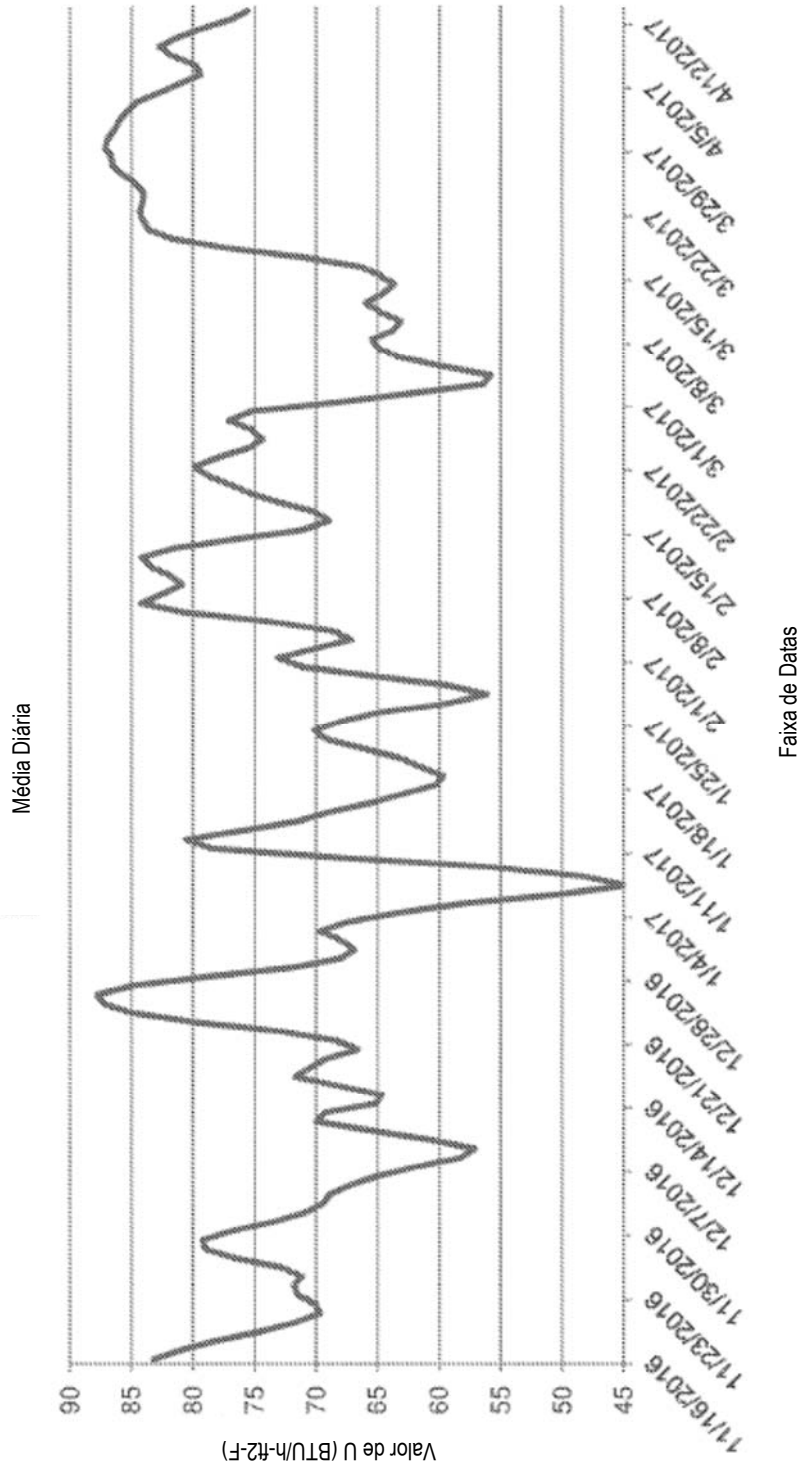


FIG. 17