



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

(11) BR 102014012494-2 B1



(22) Data do Depósito: 23/05/2014

(45) Data de Concessão: 01/12/2020

(54) Título: SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO E MÉTODO PARA GASEIFICAÇÃO

(51) Int.Cl.: C10J 3/72.

(52) CPC: C10J 3/723; C10J 2300/0906; C10J 2300/0909; C10J 2300/0969; C10J 2300/0976; (...).

(30) Prioridade Unionista: 06/06/2013 US 13/912,034.

(73) Titular(es): AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC..

(72) Inventor(es): PRAVIN SADASHIV NAPHADE; AVISH IVAN DSOUZA; RICHARD ANTHONY DE PUY.

(57) Resumo: SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO, MÉTODO E SISTEMA Trata-se de um sistema de gaseificação que inclui um gaseificador configurado para gaseificar uma matéria-prima e um oxidante para gerar um gás produtor, um gerador de vapor configurado para fornecer vapor ao gaseificador e um sistema de combustão configurado para fornecer um gás de escape para o gerador de vapor a fim de produzir o vapor. O sistema também inclui um sistema de injeção de gás de escape localizado a montante do gaseificador e acoplado de modo fluido ao gaseificador. O sistema de injeção de gás de escape é configurado para fornecer uma porção do gás de escape do sistema de combustão para o gaseificador.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para “**SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO E MÉTODO PARA GASEIFICAÇÃO**”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a sistemas de gaseificação, e mais particularmente, a sistemas para gaseificação.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Vários tipos de matéria-prima (por exemplo, carvão, biomassa) podem ser gaseificados para uso na produção de eletricidade, combustíveis químicos e sintéticos ou para muitas outras aplicações. Muitas vezes, a gaseificação envolve a oxidação parcial da matéria-prima e uma série de outras reações, o que resulta na produção de gases combustíveis que incluem monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂) e um pouco de metano (CH₄), ou em outras palavras, gás produtor. O gás produtor pode ser usado para acionar os motores de combustão interna, por exemplo, como um substituto para o óleo de fornalha e também pode ser usado para produzir metanol, oxo químicos e assim por diante. Inúmeros fatores podem influenciar na eficiência total da gaseificação; por exemplo, condições de gaseificação (por exemplo, temperatura, taxas de fluxo), tipo de matéria-prima utilizado, oxidante (por exemplo, ar, oxigênio ou misturas dos mesmos), diluentes (por exemplo, vapor) ou uma combinação dos mesmos pode influenciar na composição e na quantidade de gás produtor gerado e, conseqüentemente, no valor de aquecimento do gás produtor.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[003] Certas realizações compatíveis em escopo com a invenção originalmente reivindicada são resumidas abaixo. Essas realizações não se destinam a limitar o escopo da invenção reivindicada, mas, de preferência, as mesmas se destinam a fornecer somente um breve resumo de possíveis formas da invenção. De fato, a invenção pode envolver inúmeras formas que podem ser semelhantes ou diferentes

das realizações apresentadas abaixo.

[004] Em uma primeira realização, um sistema de gaseificação inclui um gaseificador configurado para gaseificar uma matéria-prima e um oxidante configurado para gerar um gás produtor, um gerador de vapor configurado para fornecer vapor ao gaseificador e um sistema de combustão que fornece um gás de escape ao gerador de vapor a fim de produzir o vapor. O sistema também inclui um sistema de injeção de gás de escape localizado a montante do gaseificador e acoplado de modo fluido ao gaseificador. O sistema de injeção de gás de escape fornece uma porção do gás de escape do sistema de combustão ao gaseificador.

[005] Em uma segunda realização, um método inclui fornecer uma fonte de combustível e um agente gaseificante a um gaseificador, abastecer um gerador de vapor acoplado de modo fluido ao gaseificador com um gás de escape de um sistema de combustão a fim de produzir um vapor e abastecer o gaseificador com uma porção do gás de escape. A porção do gás de escape flui através de um sistema de injeção de gás de escape acoplado de modo fluido ao gaseificador. O método também inclui gaseificar uma mistura da fonte de combustível, do agente gaseificante, do vapor e da porção do gás de escape no gaseificador para gerar um gás produtor.

[006] Em uma terceira realização, um sistema inclui instruções dispostas em um meio legível por máquina não transitório. As instruções são configuradas para fornecer um sistema de injeção de gás de escape localizado a montante de um gaseificador com um gás de escape de um sistema de combustão. O sistema de injeção de gás de escape é acoplado de modo fluido ao gaseificador. As instruções também são configuradas para fornecer um gerador de vapor acoplado de modo fluido ao gaseificador com o gás de escape a fim de produzir vapor e gaseificar uma mistura de uma matéria-prima, do vapor e do gás de

escape no gaseificador para gerar um gás produtor.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[007] Essas e outras características, aspectos e vantagens da presente invenção serão melhor compreendidos quando a descrição detalhada a seguir for lida em referência às figuras anexas, em que caracteres iguais representam partes iguais por todas as figuras, nas quais:

a Figura 1 é um diagrama em bloco que mostra um método para gerar um gás produtor enriquecido;

a Figura 2 é um diagrama em bloco esquemático de uma realização de um sistema de gaseificação que inclui um sistema de injeção de gás de escape e um gerador de vapor; e

a Figura 3 é um diagrama em bloco esquemático de uma realização do sistema de gaseificação, conforme ilustrado na Figura 2.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[008] Uma ou mais realizações específicas da presente invenção serão ora descritas. Na tentativa de apresentar uma descrição concisa dessas realizações, todas as características de uma implantação real não puderam ser descritas na especificação. Deve-se apreciar que no desenvolvimento de qualquer implantação real, como em qualquer projeto de design ou de engenharia, várias decisões de específicas de implantação devem ser tomadas a fim de alcançar os objetivos específicos dos desenvolvedores, como observância às restrições relacionadas ao sistema e negócio, as quais podem variar de uma implantação para outra. Ademais, deve-se apreciar que tal tentativa de desenvolvimento pode ser complexa e demorada, no entanto, seria um empreendimento de rotina de design, fabricação e produção para os técnicos no assunto que têm o benefício desta invenção.

[009] Ao introduzir elementos de várias realizações da presente invenção, os artigos “um”, “uma”, “o” e “dito” se destinam a dizer que há

um ou mais de um dos elementos. Os termos “que compreende”, “que inclui” e “que tem” se destinam a incluir e dizer que pode haver elementos adicionais além dos elementos listados.

[010] As realizações incluem sistemas e métodos para aperfeiçoar a eficiência de um sistema de gaseificação. Em particular, as realizações incluem um sistema de injeção de gás de escape que pode distribuir gases (por exemplo, reciclar gás, como gás de escape) para um gaseificador. O gás de escape pode ser gerado a partir de uma variedade de sistemas de combustão, como fornalhas, motores de turbina a gás, motores alternativos ou qualquer combinação dos mesmos. O gás de escape pode incluir dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), vapor de água, nitrogênio, oxigênio residual, combustível não queimado (por exemplo, hidrocarbonetos) e outros componentes. Em um gaseificador, um agente gaseificante (por exemplo, ar) é introduzido no interior do gaseificador e reage com uma matéria-prima ou fonte de combustível para gerar um gás produtor (por exemplo, gás de síntese) e vários subprodutos, como carvão vegetal e cinza. O gás produtor resultante fornece energia na forma de calor a um processo do sistema de gaseificação. Nas realizações discutidas, o sistema de injeção de gás de escape distribui o gás de escape e fornece uma porção do gás de escape ao gaseificador. Isso reduz a quantidade do agente gaseificante necessário para a gaseificação da fonte de combustível e resulta em um gás produtor enriquecido com monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2).

[011] O gás produtor enriquecido com CO e H_2 pode ter um valor de aquecimento mais alto comparado a um gás resultante que não precisa ser enriquecido com CO e H_2 . O valor de aquecimento pode ser usado para definir uma característica energética do combustível. Por exemplo, o valor de aquecimento do combustível pode ser definido como a quantidade de calor liberada ao queimar uma quantidade

específica de combustível. Em particular, um valor de aquecimento baixo (LHV) pode ser definido como a quantidade de calor liberada ao queimar uma quantidade específica (por exemplo, inicialmente a 25 °C ou outro estado de referência) e retornar a temperatura dos produtos de combustão para uma temperatura alvo (por exemplo, 150 °C). O LHV pode ser representado pelas unidades de megajoule (MJ) por quilograma (kg). Na discussão a seguir, o LHV pode ser usado para indicar o valor de aquecimento de vários combustíveis, mas não se destina a limitar de qualquer forma. Qualquer outro valor pode ser usado para caracterizar a saída de energia e/ou calor da matéria-prima dentro do escopo das realizações.

[012] Passando agora para as Figuras e se referindo à Figura 1, um método 10 para gerar um gás produtor enriquecido com hidrogênio (H₂) e monóxido de carbono (CO) é ilustrado. O método 10 inclui fornecer uma fonte de combustível a um sistema de preparação de matéria-prima a fim de preparar a fonte de combustível para gaseificação (bloco 12). A fonte de combustível pode incluir qualquer tipo de combustível carbonáceo, como carvão, coque de petróleo e biomassa. Por exemplo, uma biomassa pode incluir resíduos agrícolas, madeira, pó de serra e similares. O sistema de preparação de matéria-prima pode reduzir o tamanho da fonte de combustível para um tamanho adequado para gaseificação. O sistema de preparação de matéria-prima também pode secar a fonte de combustível a fim de reduzir o teor de umidade da fonte de combustível a uma faixa desejada para a gaseificação eficiente.

[013] O método 10 também inclui fornecer um gaseificador com a fonte de combustível processada no sistema de preparação de matéria-prima (bloco 16). Enquanto a fonte de combustível é parcialmente oxidada no gaseificador. Como parte da oxidação parcial, a fonte de combustível pode ser aquecida para se submeter a um processo de

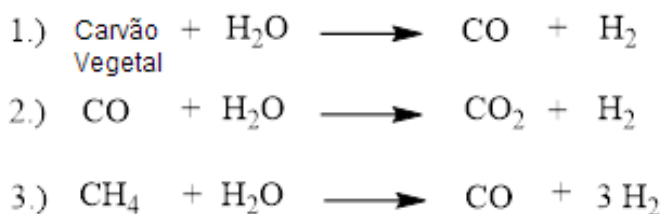
pirólise. De acordo com certas realizações, as temperaturas no interior do gaseificador podem variar de aproximadamente 150 °C a 700 °C durante o processo de pirólise, dependendo do tipo de fonte de combustível utilizado. O aquecimento da fonte de combustível durante o processo de pirólise pode gerar um sólido (por exemplo, carvão vegetal) e gases residuais (por exemplo, monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂).

[014] Antes, durante ou após a adição da fonte de combustível ao gaseificador, o método 10 também inclui adicionar um ou mais agentes gaseificantes ao gaseificador (bloco 20). A adição dos agentes gaseificantes ao gaseificador possibilita que a fonte de combustível se submeta a um processo de oxidação parcial. Os agentes gaseificantes podem incluir ar, nitrogênio (N₂), dióxido de carbono (CO₂), oxigênio (O₂), vapor ou uma combinação dos mesmos. O carvão vegetal (carbono) e os gases residuais podem reagir com os agentes gaseificantes a fim de formar CO₂ e CO, os quais fornecem calor para quaisquer reações de gaseificação subsequentes. De acordo com certas realizações, as temperaturas durante o processo de oxidação parcial podem variar de aproximadamente 700 °C a 1.600 °C.

[015] Adicionalmente, (ou como parte da) a adição dos agentes gaseificantes ao gaseificador, o método 10 inclui adicionar um gás de escape e um vapor ao gaseificador (bloco 22). O gás de escape é gerado por um dispositivo de geração de energia (por exemplo, um sistema de combustão) que é acoplado de modo fluido ao gaseificador através de um sistema de injeção de gás de escape (por exemplo, condutos, bocais de injeção, válvulas, etc.). O sistema de combustão pode incluir um motor de turbina a gás, um motor interno a combustão, uma fornalha ou qualquer combinação dos mesmos. Além disso, o vapor pode ser gerado ao usar calor do gás de escape, por exemplo, em um gerador de vapor de recuperação de calor (HRSG). A adição da

reação do gás de escape e do vapor pode aumentar a quantidade de CO e H₂ gerados durante a gaseificação da fonte de combustível.

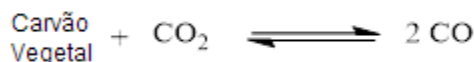
[016] Após a fonte de combustível, os agentes gaseificantes e o gás de escape do dispositivo de geração de energia serem adicionados ao gaseificador, o método 10 inclui gaseificar a fonte de combustível (bloco 24). Conforme mostrado no esquema 1 abaixo, durante o processo de gaseificação, o vapor introduzido no interior do gaseificador pode reagir com o carvão vegetal para produzir H₂, CO e CO₂ (reação 1). O vapor pode também reagir com o CO gerado durante o processo de gaseificação a fim de gerar mais CO₂ e H₂ através de um processo conhecido como reação de deslocamento gás-água (Esquema 1, reação 2). Ademais, o vapor pode reagir com metano (CH₄) produzido durante o processo de combustão para gerar CO e H₂ adicionais (Esquema 1, reação 3).



ESQUEMA 1

[017] Adicionalmente às reações entre o carvão vegetal e o vapor, o carvão vegetal também pode reagir com CO₂ durante um processo conhecido como a reação Boudouard, mostrada no esquema 2 abaixo, para produzir mais CO. A reação Boudouard é bidirecional, isto é, o CO pode produzir CO₂ e carvão vegetal (carbono) também. O carvão vegetal não gaseificável é indesejável, portanto, é benéfico para a reação Boudouard criar CO e reduzir a quantidade de carvão vegetal. Para esse fim, o CO₂ pode ser injetado no interior do gaseificador a fim de minimizar a quantidade de carvão vegetal gerado durante a reação Boudouard. Em certas realizações, o CO₂ é fornecido a partir de um gás de escape produzido por um sistema de combustão (por exemplo, uma

fornalha, uma turbina a gás ou um motor alternativo) no sistema de gaseificação, conforme descrito em detalhes abaixo.



ESQUEMA 2

[018] À medida que a fonte de combustível se submete ao processo de gaseificação, o método 10 gera um gás produtor rico em H₂ e CO (bloco 26). Conforme discutido acima, o vapor reage com o carvão vegetal, o CO e o CH₄ para produzir H₂ e o gás de escape também reage com o carvão vegetal para produzir CO através da reação Boudouard. Consequentemente, o gás produtor gerado tem uma quantidade elevada de H₂ e CO comparada a um gás produtor gerado sem vapor e sem o gás de escape.

[019] As presentes realizações também incluem um sistema de gaseificação configurado para realizar o método 10 a fim de gerar o gás produtor rico em H₂ e CO. A Figura 2 é um diagrama em bloco de uma realização desse sistema de gaseificação 30 que é configurado para gerar o gás produtor. Especificamente, o sistema 30 inclui um sistema de preparação de matéria-prima 34 que prepara uma matéria-prima 36 com uso de uma fonte de combustível 38 (por exemplo, de acordo com os atos do bloco 12 (A Figura 1)). Por exemplo, o sistema de preparação de matéria-prima 34 pode redimensionar ou remodelar a fonte de combustível 38 ao cortar, moer, picar, pulverizar, briquetar ou peletizar a fonte de combustível 38. Consequentemente, o sistema de preparação de matéria-prima 34 pode incluir um ou mais moedores, moinhos ou qualquer unidade semelhante que possa produzir partículas menores a partir de partículas grandes da fonte de combustível 38 durante o funcionamento. Adicionalmente, a fonte de combustível redimensionada ou remodelada 38 pode ser secada a fim de reduzir o teor de umidade da fonte de combustível 38. Por conseguinte, o sistema de preparação de matéria-prima 34 também pode incluir um ou mais

silo-secadores perfurados, transportadores de banda, secadores de cascata giratórios ou qualquer outra unidade de secagem adequada que possa reduzir o teor de umidade da fonte de combustível 38. A fonte de combustível 38 pode incluir carvão, coque de petróleo e biomassa. Por exemplo, a fonte de combustível 38 pode incluir carvão betuminoso, carvão sub-betuminoso, lignito, resíduo agrícola (por exemplo, madeira, pó de serra e similares) ou uma combinação dos mesmos.

[020] Seguida da preparação, a matéria-prima 36 pode ser direcionada ao interior de um gaseificador 40, de acordo com os atos do bloco 16 (A Figura 1). Por exemplo, a matéria-prima 36 pode ser direcionada ao gaseificador 40 com uso de um ou mais dispositivos de transporte de sólidos, como transportadores de parafusos, bombas tipo globo, bombas de diafragma, brocas, impulsores ou qualquer outro dispositivo de transporte de sólido adequado. Deve-se notar que a matéria-prima 36 pode ser direcionada a um mecanismo de pesagem antes de entrar no gaseificador 40. O gaseificador 40 pode ser parte de uma usina de energia de ciclo combinado com gaseificação integrada (IGCC) ou qualquer outra variedade de fábricas que use ou produza um gás produtor 42. O gaseificador 40 pode ser um gaseificador com leito fixo com corrente descendente ou ascendente, um gaseificador com leito fluidizado, como um gaseificador com leito fluidizado borbulhante ou circulante ou gaseificador com leito móvel.

[021] Enquanto no gaseificador 40, a matéria-prima 36 se submete a uma série de reações as quais são coletivamente denominadas como o processo de gaseificação. O processo de gaseificação pode incluir oxidação parcial da matéria-prima 36. Conforme ora discutido, durante a oxidação parcial, a matéria-prima 36 pode ser aquecida para se submeter a um processo de pirólise que gera o carvão vegetal e os gases residuais. A oxidação parcial da matéria-prima 36 é alcançada ao introduzir um ou mais agentes gaseificantes 44 no interior do

gaseificador 40 (por exemplo, de acordo com bloco 20 (A Figura 1)). O agente gaseificante 44 geralmente inclui um oxidante e pode incluir, mas não é limitado a ar atmosférico ou pressurizado, gás oxigênio ou uma combinação dos mesmos. Deve-se notar também que o agente gaseificante 44 pode ser pré-aquecido antes de entrar no gaseificador 40. A matéria-prima 36 é parcialmente oxidada em relações combustível-ar subestequiométricas, de acordo com os atos do bloco 24 (A Figura 1), para produzir, juntamente com um pouco de CO e H₂, CO₂, água (H₂O) e um leito de cinza quente. A relação combustível-ar pode ser ajustada por uma válvula de controle 48 configurada para controlar a quantidade do agente gaseificante 44 que entra no gaseificador 40 a fim de promover, por exemplo, uma ou mais reações de oxidação parciais.

[022] A reação de oxidação parcial, em geral, é exotérmica e produz, em certas realizações, temperaturas dentro do gaseificador 40 entre aproximadamente 700 °C a 1.600 °C. Como um exemplo, as temperaturas dentro do gaseificador 40 podem atingir aproximadamente 700 °C, 900 °C, 1.000 °C, 1.450 °C, 1.500 °C, 1.550 °C, 1.600 °C ou mais durante a reação de oxidação parcial subestequiométrica. O CO₂ e o H₂O produzidos pela reação de combustão podem passar através ou, de forma diversa, contatar o carvão vegetal ou o leito de cinza e se submeter a uma redução para gerar CO, H₂ e um pouco de CH₄. Deve-se notar que o processo de redução pode ser facilitado com a adição de um catalisador. A reação de redução que é realizada para produzir o CO e o H₂ é endotérmica e, por isso, necessita de calor. A maior parte da reação de redução pode, então, usar calor produzido pela reação de oxidação parcialmente e também pode usar qualquer calor latente do carvão vegetal ou do leito de cinza quentes.

[023] Adicionalmente à introdução do agente gaseificante 44 ao gaseificador 40, em uma realização, o vapor 50 também pode ser

adicionado ao gaseificador 40, como outro agente gaseificante, de acordo com os atos do bloco 22 (A Figura 1). O vapor 50 aumenta a pressão parcial do H_2O no gaseificador 40, favorecendo reações gás-água, de deslocamento de gás-água e de reforma de vapor. Durante o processo de gaseificação, o vapor 50 reage com o carvão vegetal, o CO e o CH_4 produzidos durante os processos de oxidação parciais para produzir CO e H_2 a temperaturas que variam de aproximadamente 700 °C a 1.600 °C. Essencialmente, o gaseificador 40 utiliza o vapor 50 e o agente gaseificante 44 para possibilitar que algumas das matérias-primas 36 sejam parcialmente oxidadas a fim de produzir CO e liberar energia, a qual conduz uma segunda reação que converte matéria-prima adicional 36 em H_2 e CO_2 adicional.

[024] Dessa forma, o gaseificador 40 fabrica o gás produtor 42 enriquecido com H_2 . Em uma realização, a adição do vapor 50 durante o processo de gaseificação pode aumentar a quantidade de H_2 no gás produtor 42 em aproximadamente 30% comparada à gaseificação da matéria-prima 36 sem o vapor 50. Por exemplo, o gás produtor 42 pode ter 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10% de H_2 ou mais H_2 que um gás resultante produzido sem o vapor 50. Além disso, o vapor 50 pode reduzir subprodutos indesejáveis do processo de gaseificação, como alcatrão, fuligem e outros resíduos.

[025] O sistema de gaseificação 30 inclui um gerador de vapor 54 (por exemplo, um gerador de vapor de recuperação de calor) que fornece o vapor 50 ao gaseificador 40. O gerador de vapor 54 recebe e processa um gás de escape 56 que se origina a partir de um dispositivo de geração de energia 58 (por exemplo, sistema de combustão, como um motor a combustão) para produzir o vapor 50 a uma alta pressão e alta temperatura. Novamente, o dispositivo 58 pode incluir vários sistemas de combustão, como motores de turbina a gás, motores de pistão em cilindro alternativos, fornalhas ou qualquer combinação dos

mesmos. O gerador de vapor 54 pode formar parte de um sistema de gerador de vapor de recuperação de calor (HRSG) e incluir uma ou mais trocas de calor, condensadores e vários equipamentos de recuperação de calor, os quais funcionam coletivamente para transferir calor do gás de escape 56 a uma corrente de água gerando através disso o vapor 50. O vapor 50 também pode ser fornecido em quaisquer outros processos nos quais o vapor pode ser usado, como no sistema de preparação de matéria-prima 34. Nas realizações em que o vapor 50 é direcionado ao gaseificador 40, o vapor 50 pode ser pré-aquecido antes de entrar no gaseificador 40 a fim de facilitar temperaturas de gaseificação mais altas. Embora o vapor 50 e os agentes gaseificantes 44 sejam mostradas como correntes separadas, em certas realizações, o vapor 50 e o agente gaseificante 44 podem entrar no gaseificador 40 como uma única corrente (por exemplo, uma única corrente de agente gaseificante). Em algumas realizações, o sistema de gaseificação 30 inclui uma válvula de controle 60 que controla ou ajusta uma taxa de fluxo do vapor 50 no interior do gaseificador 40. Por exemplo, em certas realizações, a válvula de controle 60 pode ser usada para fornecer o vapor 50 em uma taxa de fluxo de aproximadamente 100 a 900 kg/h.

[026] Conforme discutido acima, o gás de escape 56 que entra no gerador de vapor 54 é gerado pelo dispositivo de geração de energia 58 durante o funcionamento. O dispositivo de geração de energia 58 pode incluir um motor de turbina a gás, um motor interno a combustão com pistões alternativos ou qualquer outro motor alimentado por gás adequado. Por exemplo, o motor pode incluir um motor interno a combustão com 1 a 30, 4 a 20 ou 8 a 16 cilindros e pistões alternativos associados. Em uma realização, o dispositivo de geração de energia 58 é acoplado de modo fluido ao gaseificador 40 mediante um sistema de injeção de gás de escape 64. O sistema de injeção de gás de escape 64 pode incluir condutos, bocais de injeção, válvulas ou qualquer outra

característica adequada para fornecer o gaseificador 40 com o gás de escape 56. Uma válvula de controle 66 pode repartir o gás de escape 56 entre o gerador de vapor 54 e o sistema de injeção de gás de escape 64. A válvula de controle 66 também pode ajustar uma taxa de fluxo do gás de escape 56 que entra no gerador de vapor 54, ajustando, assim, a taxa de fluxo do gás de escape 56 que entra no sistema de injeção de gás de escape 64. Em outras palavras, aumentar a taxa de fluxo do gás de escape 56 no gerador de vapor 54 ao abrir a válvula de controle 66 pode diminuir a taxa de fluxo do gás de escape 56 no sistema de injeção de gás de escape 64.

[027] Durante o funcionamento do sistema de gaseificação 30, o sistema de injeção de gás de escape 64 flui uma porção do gás de escape 56 ao gaseificador 40, reduzindo, assim, a quantidade de outro agente gaseificante 44 usado no processo de gaseificação (de acordo com os atos do bloco 22 (A Figura 1)). Enquanto no gaseificador 40, o gás de escape 56 e o carvão vegetal se submetem à reação Boudouard a fim de produzir CO e H₂ adicionais a temperaturas acima de 700 °C. Consequentemente, incluindo o fato de ser rico em H₂, conforme discutido acima, o gás produtor 42 também pode ser enriquecido com CO (de acordo com os atos do bloco 26 (A Figura 1)). Em uma realização, o gás produtor 42 pode ter aproximadamente 20% mais de CO comparado a um gás produtor gerado sem o gás de escape 56. Por exemplo, o gás produtor 42 pode ter 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, 15%, ou mais de CO que um gás resultante produzido sem o gás de escape 56. Como um resultado, O H₂ e o CO enriquecidos com gás produtor 42 podem ter um LHV entre pelo menos aproximadamente 10% a 30% mais, comparado a um gás resultante produzido sem o vapor 50 e o gás de escape 56.

[028] Conforme discutido acima, o sistema de injeção de gás de escape 64 flui o gás de escape 56 no gaseificador 40.

Consequentemente, o sistema de gaseificação 30 pode ter certas características e/ou processos que estimulem o gás de escape 56 a fluir através do sistema de injeção de gás de escape 64. Tal característica pode incluir um dispositivo de indução de fluxo 70, como um compressor, um soprador ou um ventilador. Por exemplo, conforme ilustrado na Figura 2, o dispositivo de indução de fluxo 70 localizado ao longo do sistema de injeção de gás de escape 64 pode conduzir o gás de escape 56 por todo o sistema de injeção de gás de escape 64 e no interior do gaseificador 40. Nas realizações em que o dispositivo de indução de fluxo 70 é um soprador, o mesmo, enquanto estiver em funcionamento, pode operar em qualquer velocidade adequada para conduzir o gás de escape 56 por todo o sistema de injeção de gás de escape 64 e no interior do gaseificador 40. Nas realizações em que o dispositivo de indução de fluxo 70 é um compressor, enquanto estiver em funcionamento, o mesmo pode reduzir o volume do gás de escape 56, o que resulta em um aumento de pressão do gás de escape 56, motivando o gás de escape 56 a fluir através do sistema de injeção de gás de escape 64. O compressor pode incluir um compressor centrífugo, um compressor alternativo, um compressor de pá giratório ou qualquer outro compressor adequado. Em outra realização, o gás de escape 56 pode fluir através do sistema de injeção de gás de escape 64 e no interior do gaseificador 40, como um resultado de um diferencial de pressão entre o gaseificador 40 e o sistema de injeção de gás de escape 64. Em outras palavras, a pressão no sistema de injeção de gás de escape 64 pode ser maior que a pressão no gaseificador 40. Tal diferencial de pressão pode ser produzido por um vácuo localizado a jusante do gaseificador 40.

[029] Enquanto no sistema de injeção de gás de escape 64, pode ser desejável resfriar o gás de escape 56 antes que o mesmo entre no gaseificador 40. Em uma realização, uma troca de calor indireta 72 pode

ser posicionada a montante do gaseificador 40 ao longo do sistema de injeção de gás de escape 64. Consequentemente, o gás de escape 56 pode ser resfriado a uma temperatura desejada, mediante a troca de calor indireta com o trocador de calor indireto 72, à medida que o mesmo flui através do sistema de injeção de gás de escape 64 no interior do gaseificador 40. Em outra realização, o gás de escape 56 pode ser arrefecido com uma corrente fluida e resfriado pelo trocador de calor direto a montante do gaseificador 40. Por exemplo, o gás de escape 56 pode ser misturado com o agente gaseificante 44, o vapor 50 ou uma combinação dos mesmos, para resfriar o gás de escape 56 a uma temperatura adequada para a gaseificação no gaseificador 40. Nessa realização particular, o trocador de calor 72 pode não ser usado para resfriar o gás de escape 56 e pode, portanto, ser omitido ou ultrapassado. Embora possa ser desejável resfriar o gás de escape 56 antes de o mesmo entrar no gaseificador 40, em outras realizações, o gás de escape 56 não é resfriado antes de entrar no gaseificador 40.

[030] O processo de gaseificação, conforme se nota acima, produz CO, H₂, alcatrão, carvão vegetal e outros gases (por exemplo, diluentes, N₂, gases ácidos). Em certas realizações, a combinação de gases (por exemplo, gás produtor 42) formada no gaseificador 40 deixa o gaseificador 40 e é direcionada a um sistema de tratamento de gás 78. O sistema de tratamento de gás 78 pode incluir um ou mais purificadores e outros filtros interconectados por tubos, canos ou condutos. Por exemplo, em uma realização, o sistema de tratamento de gás 78 pode incluir os primeiro, segundo e terceiro purificadores 80, 82, e 84, em série, os quais removem impurezas, como finas (por exemplo, partículas finas), alcatrão, e outros gases arrastados (por exemplo, cloreto de hidrogênio) do gás produtor 42 mediante processos, como depuração de água, retirada de água ácida, absorção, decomposição, e/ou retirada seletiva para produzir um gás produtor tratado 88.

[031] Em certas realizações, o terceiro purificador 84 pode incluir um purificador de água gelada. No terceiro purificador 84, o gás produtor 42 pode se submeter à filtração adicional, dessecação e resfriamento. Por exemplo, uma corrente de água gelada pode fluir no interior do terceiro purificador 84 para trocar calor com o gás produtor 42, resfriando, assim, o gás produtor tratado 88. A água utilizada no terceiro purificador 84 pode ser enviada a um tanque de água gelada e recirculada, a uma instalação de tratamento de água ou a uma característica semelhante de instalação.

[032] Durante o funcionamento normal do sistema de gaseificação 30, o gás produtor tratado 88 é fornecido a um motor 94 (por exemplo, sistema de geração de energia). Em certas realizações, o motor 94 pode incluir um ou mais motores de turbina a gás ou um motor interno a combustão com pistões alternativos ou qualquer outro motor alimentado por gás que tem um motor principal, como um motor a compressão ou por ignição à faísca. Por exemplo, o motor pode incluir um motor interno a combustão com 1 a 30, 4 a 20 ou 8 a 16 cilindros e pistões alternativos associados. Nessas realizações, o motor 94 pode conduzir um gerador que produz eletricidade. No entanto, em outras realizações, o motor 94 pode ser qualquer tipo adequado de sistema de geração de energia. Em certas realizações, uma válvula 95 pode fornecer gás de escape 93 ao gaseificador 40 sozinha ou em combinação com o gás de escape 56 do dispositivo de geração de energia 58.

[033] Um controlador 96 pode controlar, de modo independente, o funcionamento do sistema de gaseificação 30 ao se comunicar eletricamente com os sensores e controlar as válvulas ou outras características de ajuste de fluxo por todo o sistema de gaseificação 30. Na realização ilustrada, cada linha de fluxo (incluindo linhas 50, 56, e 93) inclui 1, 2, 3, 4, 5 ou mais válvulas e sensores acoplados ao controlador 96. O controlador 96 pode incluir um sistema de controle de

distribuição (DCS) ou qualquer estação de trabalho baseada em computador que é completa ou parcialmente automatizada. Por exemplo, o controlador 96 pode ser qualquer dispositivo que emprega um processador com fim geral ou aplicação específica, em que ambos geralmente podem incluir circuito de memória para armazenar instruções, como parâmetros de gaseificação, como as condições de gaseificação da matéria-prima 36. O processador pode incluir um ou mais dispositivos de processamento e o circuito de memória pode incluir uma ou mais instruções de armazenamento de modo coletivo de mídia legível por máquina tangível, não transitória, executável pelo processador a fim de realizar os atos das Figuras 1 e 2, discutidas acima, e da Figura 3, conforme discutido abaixo, e controlar as ações descritas no presente documento.

[034] Em uma realização, o controlador 96 pode operar dispositivos de controle para controlar quantidades e/ou fluxos entre os diferentes componentes do sistema. Deve-se notar que pode haver válvulas adicionais por todo o sistema de gaseificação 30 usadas para ajustar diferentes quantidades e/ou fluxos entre os componentes do sistema. Na realização ilustrada, o controlador 96 administra o funcionamento de um dispositivo de controle, como as válvulas 48 e 60 para ajustar um fluxo do agente gaseificante 44 e do vapor 50, respectivamente, no interior do gaseificador 40. O controlador 96 também pode administrar o funcionamento de válvulas 66 e 95 para controlar uma quantidade ou ajustar um fluxo do gás de escape 56 e do gás de escape 93, respectivamente, que entra no gerador de vapor 54 e no gaseificador 40. Em certas realizações, o dispositivo de controle pode ser parte de um mecanismo de pesagem que mede a quantidade da matéria-prima 36 antes de entrar no gaseificador 40. O controlador 96 também pode ajustar um fluxo da matéria-prima 36 que entra no gaseificador 40.

[035] Em certas realizações, o controlador 96 pode usar informações fornecidas através de sinais de saída 100 para executar instruções ou códigos contidos em um meio de armazenamento legível por máquina ou computador e gerar um ou mais sinais de saída 102 para vários dispositivos de controle (por exemplo, válvulas 48, 66, 68 e 95). Por exemplo, baseado na execução das instruções ou códigos contidos no meio de armazenamento legível por máquina ou computador do controlador 96, os sinais de saída 102 podem ser usados para controlar uma temperatura do gaseificador 40 ou o fluxo do agente gaseificante 44, do vapor 50, do gás de escape 56, do gás de escape 93, ou uma combinação dos mesmos. Particularmente, o controlador 96 pode sentir sinais de um sensor de fluxo 104 para monitorar a quantidade de agente gaseificante 44 que entra no gaseificador 40. De forma semelhante, o controlador 96 pode sentir sinais dos sensores de fluxo 106, 108 e 109 e/ou transdutores de pressão 110, 112 e 113 para monitorar a quantidade de vapor 50, de gás de escape 64 ou de gás de escape 93, respectivamente, que entra no gaseificador 40. Por exemplo, se a taxa de fluxo do gás de escape 64 estiver alta demais, o controlador 96 poderá sentir um aumento na pressão a jusante do soprador 70. Depois, o controlador 96 poderá ajustar a taxa de fluxo do gás de escape 64 para uma taxa de fluxo mais desejável. Ainda em uma realização adicional, o controlador 96 pode monitorar e controlar a saída do gerador de vapor 54, do dispositivo de geração de energia 58 e do motor 94 a fim de ajustar a quantidade de vapor 50, de gás de escape 64 e de gás de escape 93 gerada e fornecida para o gaseificador 40.

[036] Em outras realizações, o controlador 96 pode sentir sinais do sensor de temperatura 118. Por exemplo, se for adicionado muito agente gaseificante 44 ao gaseificador 40, o controlador 96 poderá sentir que a temperatura está além da faixa desejada. Depois, o controlador 96 poderá ajustar quaisquer dos parâmetros do sistema de

gaseificação 30 para retornar a temperatura à faixa desejada. Além disso, o controlador 96 também pode monitorar a temperatura do gás de escape 64 a jusante do trocador de calor 72. Por exemplo, se o gás de escape 64 estiver muito quente, o controlador 96 poderá sentir uma temperatura de gás de escape além de uma faixa desejada e ajustar o trocador de calor 72, de modo que o gás de escape 64 esteja dentro de uma faixa de temperatura desejada.

[037] Voltando agora para a Figura 3, uma realização do sistema de gaseificação 30 que prepara o gás produtor enriquecido com H_2 e CO 42 durante o funcionamento, de acordo com os atos do método 10 (A Figura 1) é mostrada. Os elementos na Figura 3 em comum com esses mostrados na Figura 2 são rotulados com as mesmas referências numéricas. Na realização ilustrada, o sistema de gaseificação 30 prepara o gás produtor 42, conforme descrito acima. A preparação a seguir, o gás produtor enriquecido 42 é direcionado a um ciclone 140 ou outro sistema de separação adequado que separa finas (isto é, partículas finas) do gás produtor enriquecido 42 para gerar um gás produtor separado 142. Em certas realizações, o ciclone 140 pode incluir purificadores molhados, precipitadores eletrostáticos, ou filtros de barreira, como filtros de vela porosa de metal ou de cerâmica, filtros de leito empacotado ou uma combinação dos mesmos. O gás produtor separado 142 flui através do gerador de vapor 54 e transfere, indiretamente, calor para a corrente de água no gerador de vapor 54 a fim de produzir o vapor 50. O gás produtor separado 142 entra no sistema de tratamento de gás 78 localizado a jusante do gerador de vapor 54 para remover quaisquer impurezas remanescentes indesejáveis (por exemplo, diluentes, N_2 , ácido gases, etc.), conforme descrito acima, antes de entrar no sistema de geração de energia 94. Em outros aspectos, o sistema de gaseificação 30 mostrado na Figura 3 é semelhante ao sistema 30 mostrado na Figura 2.

[038] Os efeitos técnicos da invenção incluem gases de escape de recuperação do sistema de gaseificação 30 (por exemplo, gás de escape 56) de um dispositivo de geração de energia 58 (por exemplo, sistema de combustão) e direcionam esses gases ao gaseificador 40 para gerar o gás produtor 42. Os sistemas 30 podem empregar um sistema de injeção de escape 64, receber e distribuir o gás de escape 56 do dispositivo de geração de energia 58 dentro do sistema de gaseificação 30. O gás de escape 56 aumenta a quantidade de CO no gás produtor 42, ajudando, assim, a aperfeiçoar o LHV do gás produtor 42 e a eficiência do sistema de gaseificação 30.

[039] Esta descrição usa exemplos para revelar a invenção, incluindo o melhor modo e também para possibilitar qualquer técnico no assunto de praticar a invenção, incluindo fazer e usar quaisquer dispositivos ou sistemas e executar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações e pode incluir outros exemplos que ocorrem aos técnicos no assunto. Esses outros exemplos se destinam a estar dentro do escopo das reivindicações, caso tenham elementos estruturais que não difiram da linguagem literal das reivindicações ou caso incluam elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais da linguagem literal das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO (30), caracterizado por compreender:

um gaseificador (40) configurado para gaseificar uma matéria-prima (36) e um oxidante (44) a fim de gerar um gás produtor (42) enriquecido com monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂);

um gerador de vapor de recuperação de calor (54) configurado para ser acoplado de modo fluido ao gaseificador (40) e configurado para fornecer vapor (50) ao gaseificador (40);

um sistema de combustão (58) configurado para ser acoplado de modo fluido ao gerador de vapor de recuperação de calor (54), em que o sistema de combustão (58) é configurado para fornecer um gás de escape (56) ao gerador de vapor de recuperação de calor (54) a fim de produzir o vapor (50); e

um sistema de injeção de gás de escape (64) localizado a montante do gaseificador (40) e acoplado de modo fluido ao gaseificador (40), em que o sistema de injeção de gás de escape (64) é configurado para fornecer uma porção do gás de escape (56) do sistema de combustão (58) ao gaseificador (40); e

um controlador (96) compreendendo um meio de armazenamento não transitório e legível por máquina armazenando instruções configuradas para:

fornecer ao sistema de injeção de gás de escape (64) a porção de gás de escape (56) do sistema de combustão (58) e para fornecer o vapor (50) do gerador de vapor de recuperação de calor (54) ao gaseificador (40) para enriquecer o gás produtor (42) com CO e H₂, de modo que o gás produtor (42) tenha, pelo menos, 30% mais H₂ e 20% mais CO comparado a um gás produtor gerado com o oxidante (44), mas sem o gás de escape (56) e o vapor (50).

2. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo sistema de injeção de gás de escape (64) compreender uma válvula (66) configurada para repartir o gás de escape (56) entre o gerador de vapor de recuperação de calor (54) e o sistema de injeção de gás de escape (64).

3. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pela válvula (66) ser configurada para ajustar a taxa de fluxo do gás de escape (56) ao gerador de vapor de recuperação de calor (54).

4. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo sistema de injeção de gás de escape (64) compreender um dispositivo de indução de fluxo (70) configurado para estimular a porção do gás de escape (56) através do sistema de injeção de gás de escape (64) e no interior do gaseificador (40).

5. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato do dispositivo de indução de fluxo (70) compreender um soprador.

6. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo dispositivo de indução de fluxo (70) ser configurado para aumentar um diferencial de pressão entre o gaseificador (40) e o sistema de injeção de gás de escape (64).

7. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo sistema de combustão (58) compreender um motor de turbina a gás ou um motor a combustão.

8. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo gaseificador (40) ser configurado para transferir o gás produtor (42) ao gerador de vapor de recuperação de calor (54) a fim de transferir calor do gás produtor (42) a uma corrente de água para produzir o vapor (50).

9. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela matéria-prima compreender pelo menos um dentre

resíduos agrícolas, madeira, pó de serra, carvão ou uma combinação dos mesmos.

10. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender um refrigerador de gás de escape (56) configurado para ser disposto entre o gaseificador (40) e o sistema de combustão (58), em que o refrigerador de gás de escape (56) é configurado para resfriar a porção do gás de escape (56) por meio de troca de calor antes de entrar no gaseificador (40).

11. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo refrigerador de gás de escape (56) ser um trocador de calor indireto (72) localizado dentro do sistema de injeção de gás de escape (64).

12. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo gás de escape (56) ser resfriado por troca de calor direta entre o gás de escape (56) e o oxidante (44).

13. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender um sistema de tratamento de gás (78) compreendendo um ou mais purificadores (80, 82, 84) configurados para tratar o gás produtor (42) do gaseificador (40) e para gerar um gás produtor tratado (88).

14. SISTEMA (30), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender instruções dispostas no meio de armazenamento não transitório e legível por máquina, em que as instruções são configuradas para:

abastecer o sistema de injeção de gás de escape (64) com uma primeira porção do gás de escape (56) do sistema de combustão (58);

abastecer o gerador de vapor de recuperação de calor (54) com uma segunda porção do gás de escape (56);

fornecer pelo menos uma porção do vapor (50) do gerador

de vapor de recuperação de calor (54) ao gaseificador (40); e
gaseificar uma mistura da matéria-prima (36), o vapor (50) e o gás de escape (56) no gaseificador (40) para gerar o gás produtor (42).

15. MÉTODO PARA GASEIFICAÇÃO (10), caracterizado por compreender:

fornecer (16) uma fonte de combustível (38) e um agente gaseificante (44) a um gaseificador (40);

abastecer (20) um gerador de vapor de recuperação de calor (54) acoplado de modo fluido ao gaseificador (40) com uma primeira porção de um gás de escape (56) de um sistema de combustão (58) para produzir vapor (50), em que o gerador de vapor de recuperação de calor (54) fornece pelo menos uma porção do vapor (50) ao gaseificador (40);
abastecer (22) o gaseificador com uma segunda porção do gás de escape (56), em que a segunda porção do gás de escape (56) flui através de um sistema de injeção de gás de escape (64) localizado a montante do gaseificador (40) e acoplado de modo fluido ao gaseificador (40); e

gaseificar (24) uma mistura da fonte de combustível (38), do agente gaseificante (44), do vapor (50) e da segunda porção do gás de escape (56) no gaseificador (40) para gerar (26) um gás produtor (42) enriquecido com monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂), em que a gaseificação da fonte de combustível (38) com a porção de vapor (50) e a segunda porção do gás de escape (56) enriquece o gás produtor (42) com 30% mais H₂ e 20% mais CO comparado a um gás produtor gerado com o agente gaseificante (44), mas sem o gás de escape (56) e o vapor (50).

16. MÉTODO (10), de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender estimular o fluxo da segunda porção do gás de escape (56) através do sistema de injeção de gás de escape (64)

com uso de um dispositivo de indução de fluxo (70) configurado para estimular o fluxo da segunda porção do gás de escape (56) através do sistema de injeção de gás de escape (64) e no interior do gaseificador (40).

17. MÉTODO (10), de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender ajustar o fluxo da segunda porção do gás de escape (56) que entra no gaseificador (40) com uma válvula (66) configurada para repartir o gás de escape (56) entre o gerador de vapor (54) e o sistema de injeção de gás de escape (64).

18. MÉTODO (10), de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo sistema de combustão (58) compreender um motor de turbina a gás ou um motor a combustão.

19. MÉTODO (10), de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender transferir calor do gás produtor (42) a uma corrente de água no gerador de vapor (54) a fim de produzir o vapor (50).

20. MÉTODO (10), de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender instruções dispostas em um meio de armazenamento não-transitório e legível por máquina configuradas para:

abastecer o gerador de vapor de recuperação de calor (54) com a primeira porção do gás de escape (56) do sistema de combustão (58);

fornecer a segunda porção do gás de escape (56) do sistema de combustão (58) ao sistema de injeção de gás de escape (64);

abastecer o gaseificador (40) com vapor (50) do gerador de vapor de recuperação de calor (54); e

gaseificar a mistura da fonte de combustível (38), o agente gaseificante (44), o vapor (50) e a segunda porção do gás de escape (56).

21. SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender:

instruções dispostas em um meio de armazenamento não transitório e legível por máquina, em que as instruções são configuradas para:

abastecer (12) um sistema de injeção de gás de escape (64) localizado a montante de um gaseificador (40) com um gás de escape (56) de um sistema de combustão (58), em que o sistema de injeção de gás de escape (64) é acoplado de modo fluido ao gaseificador (40);

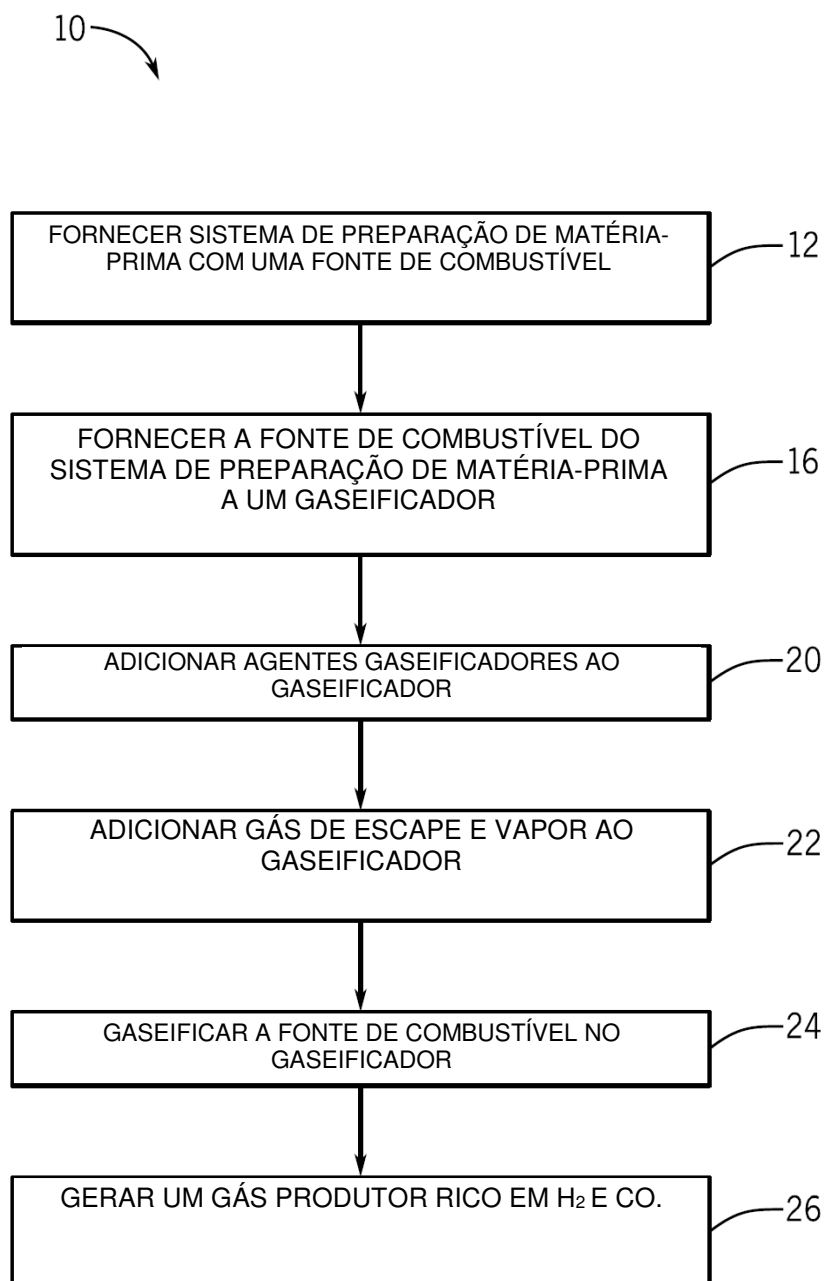
abastecer (22) um gerador de vapor de recuperação de calor (54) acoplado de modo fluido ao gaseificador (40) com o gás de escape (56) a fim de produzir vapor (50);

abastecer pelo menos parte do vapor (50) do gerador de vapor de recuperação de calor (54) ao gaseificador (40); e

gaseificar (24) uma mistura de uma matéria-prima (36), do vapor (50) e do gás de escape (56) no gaseificador (40) a fim de gerar um gás produtor (42); em que fornecer o gás de escape (56) e o vapor (50) ao gaseificador (40) compreende enriquecer o gás produtor (42) com monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂), de modo que o gás produtor (42) tenha, pelo menos, 30% mais H₂ e 20% mais CO comparado a um gás produtor gerado com um oxidante (44), mas sem o gás de escape (56) e o vapor (50).

22. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por compreender um controlador (96) tendo as instruções.

23. SISTEMA, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelas instruções serem configuradas para controlar a operação de uma usina de energia de ciclo combinado com gaseificação integrada que tem o gaseificador (40) e o gerador de vapor de recuperação de calor (54).

**Fig.1**

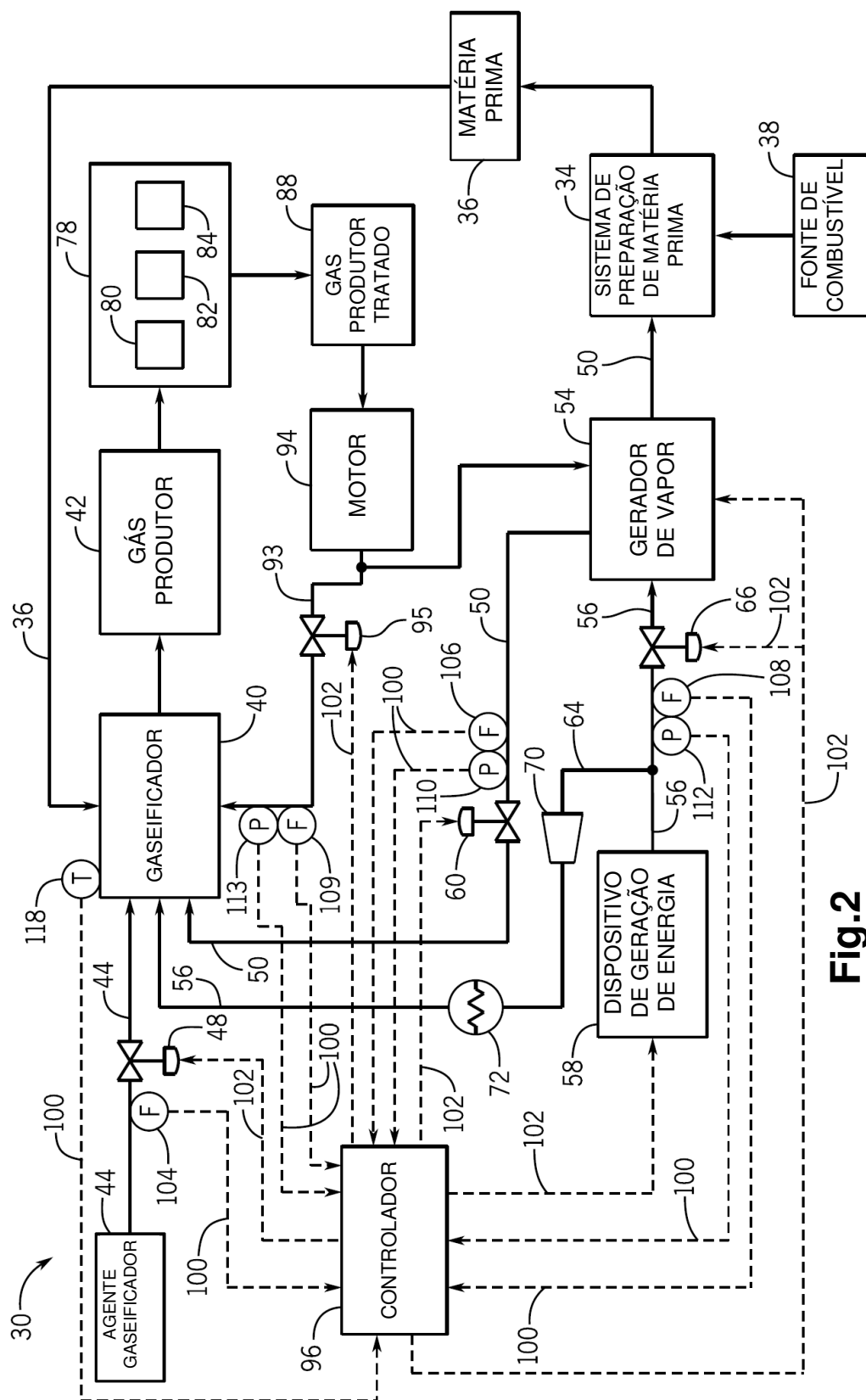


Fig.2

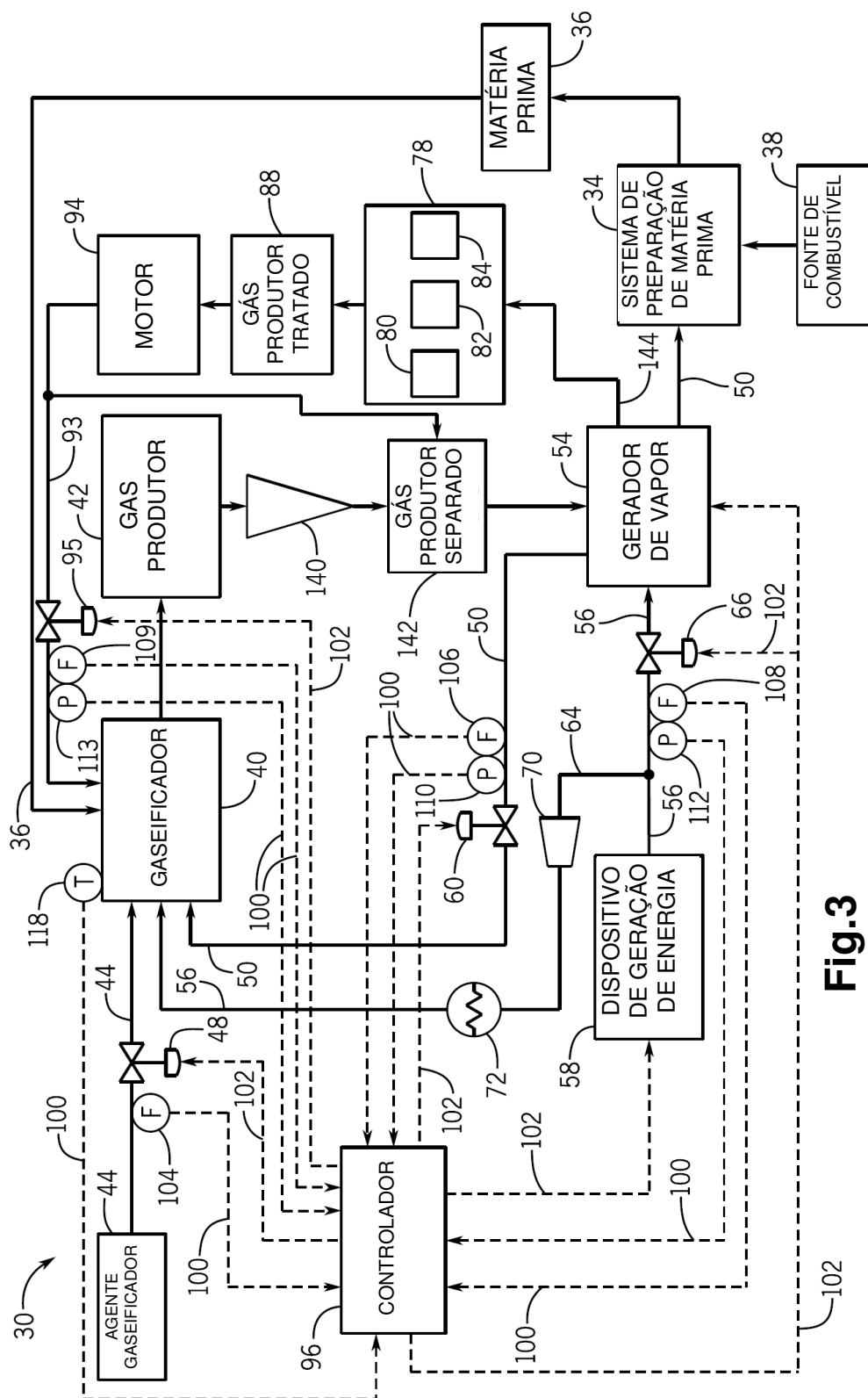


Fig.3