



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0711275-0 B1

(22) Data do Depósito: 01/05/2007

(45) Data de Concessão: 24/01/2017



(54) Título: PROCESSO PARA OPERAR UMA PLANTA DE CICLO COMBINADO COM GASEIFICAÇÃO INTEGRADA (IGCC)

(51) Int.Cl.: C07C 27/06

(30) Prioridade Unionista: 01/05/2006 US 60/746.136, 30/04/2007 US 11/742.478

(73) Titular(es): LPP COMBUSTION LLC

(72) Inventor(es): LEO D. ESKIN; RICHARD J. ROBY; MICHAEL S. KLASSEN; MICHAEL J. RAMOTOWSKI

“PROCESSO PARA OPERAR UMA PLANTA DE CICLO COMBINADO COM GASEIFICAÇÃO INTEGRADA (IGCC)”

Dados de Pedido Relacionado

[001]Este pedido reivindica prioridade ao Pedido de Patente Provisional dos Estados Unidos Número de série 60/746.136, depositado em 1 de maio de 2006, cujo conteúdo está incorporado aqui por referência, como apresenta detalhadamente.

Antecedentes da Invenção

[002]A tecnologia de Ciclo Combinado com Gaseificação Integrada (IGCC) acopla uma planta de processo de gaseificação de carvão complexa com uma usina de ciclo combinado de turbina de combustão a gás de síntese. O processo IGCC tipicamente envolve uma operação de combustão de dois estágios, que tipicamente inclui uma limpeza entre os estágios. O primeiro estágio emprega um gaseificador onde a oxidação parcial do carvão é realizada limitando o fornecimento de oxidante. Outros métodos, tais como a reforma a vapor, podem também ser empregados para produzir o gás de síntese. O gás de síntese desse modo produzido, uma mistura na maior parte de CO e H₂, é então tipicamente lavado para remover impurezas, tais como enxofre, e enviado para um segundo estágio. No segundo estágio, o gás de síntese é queimado em uma turbina de combustão para completar a oxidação e produzir energia.

[003]Para produzir o gás de síntese, fontes de carbono diferentes de carvão podem ser empregadas. Esta tecnologia de ciclo de turbina/combinada de gás (GT/CC) então denominada opera igualmente bem com uma variedade de matérias-primas que contêm carbono, tais como hidrocarbonetos líquidos e sólidos, biomassa, asfalto, pneus, resíduo de coque e similares.

[004]De extrema importância para uma planta de IGCC é a integração de todo o sistema – a unidade de gaseificação e a turbina de combustão. Uma vez que não é prático armazenar quantidades significantes de gás de síntese, a turbina de combustão deve permanecer operacional sempre que a planta de gaseificação está em operação. O desligamento da turbina de combustão tipicamente requer um desligamento imediato da planta de gaseificação. É também difícil operar a planta de gaseificação com somente parte da carga e, conseqüentemente, é necessário operar a turbina de combustão com pelo menos uma configuração de carga básica. Estas são

limitações operacionais significantes.

[005]O gás de síntese derivado de carvão tem um valor de aquecimento muito baixo (115 a 125 BTU/scf LHV) comparado àquele do gás natural (800 a 1000 BTU/scf LHV). Por causa disto, o *hardware* de combustão em uma turbina de combustão a gás de síntese deve ser modificado substancialmente daquele geralmente empregado em uma turbina de combustão a gás natural. O custo destas modificações pode ser significativa, adicionando ao custo da planta e criando problemas de manutenção adicionais para o operador.

[006]Em vez de queimar o gás de síntese por seu valor de energia, o gás de síntese pode ser convertido em hidrocarbonetos. Estes então denominados processos de gás para líquido (GTL) e carvão para líquido (CTL) são bem conhecidos. Vários métodos estão disponíveis para realizar a conversão. O processo de Fischer-Tropsch é um exemplo no qual CO e H₂ são catalisados em hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos produzidos pelo processo de Fischer-Tropsch incluem C₁-C₂₀₀ ou mais elevado, com a maioria estando na taxa de cerca de C₁-C₅₀.

[007]Nos últimos 15 anos, entretanto, os combustíveis líquidos não têm sido os combustíveis de escolha para turbinas de combustão. Isto se deve aos níveis mais elevados de poluição tipicamente associados com combustíveis líquidos de queima comparados com combustíveis gasosos de queima, tais como gás natural. Os combustíveis líquidos são tradicionalmente queimados em modo não pré-misturado (ou difusão), que conduz a regiões de temperatura relativamente elevada dentro do combustor. Uma vez que a combustão não pré-misturada pode aumentar as quantidades de poluentes, tais como NO_x, combustores pré-misturados têm sido desenvolvidos para turbinas de gás. Estes permitem maior controle do campo da temperatura no combustor. Além disso, a prática de introduzir água ou vapor no combustor para reduzir emissões de compostos NO_x quando combustíveis líquidos são queimados em modo não pré-misturado também tem um efeito prejudicial na eficiência e tempo de vida do *hardware* de turbina de combustão.

[008]A Patente U.S. No. 7,089,745, cujo conteúdo está incorporado aqui por referência, descreve um sistema para vaporização de combustíveis líquidos para combustão e método de uso.

Breve Descrição das Figuras

[009]Figura 1 mostra um diagrama em bloco de uma usina de IGCC na técnica anterior.

[010]Figura 2 mostra um diagrama em bloco de uma modalidade da invenção.

[011]Figura 3 mostra um diagrama em bloco de outra modalidade da invenção.

[012]Figura 4 mostra um diagrama em bloco de outra modalidade da invenção.

[013]Figura 5 mostra um diagrama em bloco de uma modalidade da invenção.

[014]Figura 6 mostra um diagrama em bloco de outra modalidade da invenção.

[015]Figura 7 mostra um diagrama em bloco de outra modalidade da invenção.

[016]Figura 8 mostra um diagrama em bloco de outra modalidade da invenção.

[017]Figura 9 mostra um diagrama em bloco de outra modalidade da invenção.

Descrição das Várias Modalidades

[018]Uma modalidade da presente invenção, ilustrada na Figura 2, fornece um processo compreendendo transformar um gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, produzindo um gás combustível 45 usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, e contatando o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, para formar um gás de combustão 65. Uma fonte de carbono 1a é enviada a uma unidade de gaseificação 5, na qual O_2 , ar, H_2O , CO_2 ou uma combinação destes 2 são introduzidos. As impurezas 7 podem ser removidas, e o gás de síntese 6 é formado. O gás de síntese 6 é transformado em combustível líquido 25 na unidade de conversão 20. Um gás combustível 45 é produzido na unidade de vaporização 30 usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente. O gás combustível 45 é contatado com um segundo gás 55 na unidade de pré-mistura 40, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, para formar um gás de combustão 65.

[019]O gás de combustão 65 pode ser formado antes de chegar a uma frente de chama (não ilustrada) em um dispositivo de combustão 50 (modo pré-misturado) ou a uma frente de chama em um dispositivo de combustão 50 (modo não pré-misturado).

[020]A fonte de carbono 1a não é limitada particularmente. Além do carvão 1, outras fontes de carbono 1a podem ser usadas. Alguns exemplos de fontes de carbono

1a dos quais o gás de síntese 6 pode ser produzido incluem um ou mais dentre carvão, lignita, carvão marrom, antracita, carvão sub-betuminoso, carbono particulado, combustíveis fósseis, hidrocarbonetos sólidos, hidrocarbonetos líquidos, óleo residual, óleo combustível de gravidade API baixa, óleo de areia de piche, óleo de xisto, resíduo de vácuo, coque de petróleo, resíduos de petróleo (produtos do fundo), asfalto, asfalto API, resíduo de coque, gás natural, cera, resíduos, betume, ORIMULSION™ (emulsão aquosa de betume), biomassa, carboidrato, celulósicos, turfa, milho, palha, madeira, resíduos de madeira, adubo, lama de esgoto, cascas de arroz, palha de arroz, cascas de aveia, casca de árvore de pinheiro, pneu e/ou combustível derivados de pneus, resíduo de furfural, resíduo de aveia, “switchgrass” (gramínea), resíduo de oliveira, sansa, resíduo de árvore inteira, bagaço de cana de açúcar, lama de esgoto seco não-digerido, lama de esgoto seco digerido, ourela de fabricação de tapete, tapete pós-consumidor, detritos de galinha, detritos de peru, pó de pavimento laminado, resíduo verde urbano, sedimento de polpa, caule de milho, grãos destiladores secos de planta de etanol, e similares, e misturas destes.

[021]A unidade de gaseificação 5 não é particularmente limitada enquanto houver conversão da fonte de carbono 1a em gás de síntese 6. A unidade de gaseificação 5 pode ser um leito fixo, leito fluidizado, leito fluidizado circulante ou do tipo fluxo arrastado. Na unidade de gaseificação 5, a fonte de carbono 1a é combinada com uma alimentação 2 de O₂, ar, H₂O, vapor, CO₂ ou uma combinação destes. Embora não mostrado, em uma modalidade a alimentação de O₂ 2 para a unidade de gaseificação 5 pode ser produzida em uma unidade de separação de ar (ASU), como é bem conhecido. A conversão da fonte de carbono 1a pode incluir um ou mais dentre oxidação parcial, oxidação parcial catalítica, reforma a vapor, reforma autotérmica, reforma com CO₂, deslocamento de gás por água, adsorção por pressão variante ou uma combinação destes.

[022]Como mostrado na Figura 2, impurezas 7, tais como escória, mercúrio, metais alcalinos, sólidos, fuligem, pó, cinza, enxofre, gás ácido, H₂S, COS, NH₃, HCN, HBr, HCl, HF, CS₂ e outros, podem ser removidas ou recuperadas para agregar valor. Outros componentes, tais como CO₂, H₂O, CH₄, N₂, parafinas, etano, propano e olefinas, etano, propeno, piches, combinações orgânicas e outros, podem ser removidos e/ou recuperados para agregar valor se desejado. Os métodos de remoção

destes são conhecidos na técnica. O gás de síntese 6 pode também incluir o denominado “biogás de síntese”, produzido da gaseificação de biomassa. O gás de síntese 6 desse modo produzido, que é predominantemente uma mistura de H_2 e CO , pode ser limpo e seco para fornecimento à unidade de conversão 20. A este respeito, a unidade de gaseificação 5 e a unidade de conversão 20 são fluidamente conectadas.

[023]Como mostrado na Figura 2, o gás de síntese 6 pode ser enviado à unidade de conversão 20 e pode ser transformado em combustível líquido 25. Os métodos para transformar o gás de síntese 6 em hidrocarboneto são bem conhecidos. E uma modalidade, a unidade de conversão 20 compreende um reator de Fischer-Tropsch. O processo Fischer-Tropsch (“FT”) é um exemplo no qual CO e H_2 são catalisados em hidrocarbonetos. Os produtos de FT e produtos feitos de reações similares entre o CO e H_2 incluem C_1 - C_{200} ou hidrocarboneto mais maiores, com a maioria estando na taxa de cerca de C_1 - C_{50} , cadeia linear, hidrocarboneto de ponto de ebulição elevado, óleos de ponto de ebulição médio, óleo diesel, diesel verde, gás LP, nafta, querosene, combustível de avião a jato, JP-5, JP-8, JP-4, óleo No. 1, óleo combustível No. 2, compostos oxigenados, líquidos de carvão, gás residual, água residual, e similares, e misturas destes.

[024]O tipo de reator Fischer-Tropsch para a unidade de conversão 20, tal como mostrado na Figura 2, não é particularmente limitado. Alguns exemplos de reatores de FT incluem reatores de leito fixo tubulares, reatores Arge, reatores Sasol Advanced Synthol (SAS), reatores Sasol Slurry Phase Distillate (SSPD), de temperatura elevada de Fischer-Tropsch (empregando um catalisador fluidizado a $300 - 330^\circ C$), de temperatura baixa de Fischer-Tropsch (empregando reatores de leito fixo tubulares a $200 - 230^\circ C$), reatores de leito arrastado, reatores de leito fixo-fluidizado e reatores de coluna de bolhas e lama.

[025]Em uma modalidade, não mostrada, o gás residual, que pode surgir como um subproduto do FT ou processo similar e que pode conter um ou mais de CO , H_2 , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 , Ar e outros hidrocarbonetos gasosos, pode ser recuperado para agregar valor ou reciclado a uma ou mais unidades ou etapas aqui descritas. Em outra modalidade, um ou mais dos componentes do gás residual acima pode ser recuperado para agregar valor ou reciclado a uma ou mais unidades ou etapas aqui

descritas.

[026] Já que eles são derivados de gás de síntese, muitos combustíveis líquidos 25 são adequados para uso no sistema e processo descrito aqui. O termo "combustível líquido" deve ser entendido para incluir hidrocarbonetos que estão normalmente em um estado líquido em condições ambientes, bem como hidrocarbonetos gasosos que foram liquefeitos por resfriamento e/ou pressurização. Tal combustível líquido 25 pode compreender um ou mais líquidos e/ou hidrocarbonetos gasosos liquefeitos, gás natural liquefeito com teor de hidrocarboneto mais elevado, C₂ liquefeito, C₃, C₄, C₅ liquefeito, C₆, C₇, C₈, C₉, e hidrocarbonetos maiores, meio de cadeia linear e hidrocarboneto de ponto de ebulição elevado, "combustível de hidrocarboneto maior" tendo pelo menos 50% em peso das moléculas do hidrocarboneto tem pelo menos dois carbonos, diesel, diesel verde, gás LP, nafta, querosene, combustível de avião a jato, JP-5, JP-8, JP-4, óleo combustível No. 1, óleo combustível No. 2, compostos oxigenados, líquidos de carvão, e similares, e misturas destes. Em uma modalidade, o combustível líquido 25 inclui hidrocarbonetos que normalmente estão em um estado líquido em condições ambientes. Em outra modalidade, o combustível líquido 25 inclui hidrocarbonetos gasosos que foram liquefeitos por resfriamento e/ou pressurização. Em ainda outra modalidade, o combustível líquido 25 inclui uma mistura de hidrocarbonetos que normalmente estão em um estado líquido em condições ambientes e hidrocarbonetos gasosos que foram liquefeitos por resfriamento e/ou pressurização.

[027] Como mostrado na Figura 2, o combustível líquido 25 é enviado a uma unidade de vaporização 30. O gás combustível 45 é produzido na unidade de vaporização usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35. Na unidade de vaporização 30, o combustível líquido 25 é contatado e misturado com o primeiro gás 35. O combustível líquido 25 é também vaporizado. A ordem na qual o contato e a vaporização ocorrem não é particularmente limitada. Em algumas modalidades, o contato e a vaporização ocorrem simultaneamente, tal como quando o primeiro gás 35 é pré-aquecido a uma temperatura suficiente para vaporizar o combustível líquido 25. Em outras modalidades, o combustível líquido 25 é parcialmente ou completamente vaporizado, por exemplo, aquecendo-se o combustível líquido 25 antes de contatá-lo com o primeiro gás 35. Em algumas modalidades, o primeiro gás 35 é pressurizado

e/ou aquecido antes do contato e vaporização. Um exemplo de uma unidade de vaporização adequada 30 é descrita na Patente U.S. No 7,089,745, anteriormente incorporada aqui por referência.

[028]Embora não mostrado na Figura 2, em uma modalidade, o combustível líquido 25 pode ser enviado e armazenado em um recipiente de armazenamento durante um período de tempo antes de ser enviado à unidade de vaporização 30. Em outra modalidade, não mostrada na Figura 2, o combustível líquido 25 pode ser transportado por caminhão, ferrovia, oleoduto ou navio à unidade de vaporização 30. Em outra modalidade, o combustível líquido 25 pode ser enviado à unidade de vaporização 30 através de uma combinação entre recipiente de armazenamento e transporte por caminhão, ferrovia, oleoduto ou navio. Em outra modalidade, o combustível líquido 25 é alimentado diretamente à unidade vaporização 30. A este respeito, a unidade de conversão 20 é fluidamente conectada à unidade de vaporização 30.

[029]O primeiro gás 35 tem um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente. Em uma modalidade, o primeiro gás 35 tem um teor de oxigênio menor do que cerca de 21% de a temperatura e pressão ambientes. Em uma modalidade, o primeiro gás 35 tem um teor de O₂ de zero ou substancialmente de zero a menos do que cerca de 21% a temperatura e pressão ambientes. Esta faixa inclui todos os valores e sub-faixas entre eles, incluindo 0, substancialmente zero, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e menos do que cerca de 21%.

[030]Em uma modalidade, o primeiro gás 35 tem um teor de O₂ abaixo do índice limitante de oxigênio. O índice de oxigênio limitante (LOI) é a concentração de oxigênio no ambiente local abaixo no qual um material não suportará combustão e varia para tipos diferentes de combustíveis líquidos. O LOI está tipicamente entre cerca de 10% e cerca de 14% e é cerca de 13% para muitos combustíveis de hidrocarbonetos maiores. E uma modalidade, o primeiro gás 35 tem um teor de O₂ abaixo de 14%. Isto inclui todos os valores e sub-faixas entre eles, incluído abaixo de 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6% e menores.

[031]Limitando-se a quantidade de oxigênio no primeiro gás 35 retardará ou eliminará o início de autoignição. Quanto mais reduzido for o teor de oxigênio do primeiro gás 35, mais atrasada ou diminuída é a auto-ignição. Entretanto, mais trabalho (isto é, energia) é requerido para produzir uma corrente de gás com um teor de oxi-

gênio inferior, que reduz a eficiência global do sistema. Desse modo, em algumas modalidades, o teor de oxigênio no primeiro gás 35 é suficientemente inferior para eliminar ou retarda autoignição.

[032]Em uma modalidade, o teor de oxigênio no primeiro gás 35 é suficientemente inferior de modo que a combustão do gás combustível 45 não é suportada. Em uma modalidade, o teor de oxigênio no primeiro gás 35 é suficientemente inferior de modo que a autoignição do gás de combustão 65 é reduzida ou atrasada.

[033]Já que contém uma quantidade reduzida de oxigênio, a composição do primeiro gás 35 não é particularmente limitada. Os exemplos não limitantes do primeiro gás 35 incluem um ou mais dentre gás inerte, nitrogênio, argônio, hidrogênio, monóxido de carbono, gás carbônico, NO_x, SO_x, hidrocarboneto, metano, etano, propano, butano, amônias, gás fornecido por uma unidade de separação de ar, gases de exaustão, gases de exaustão aquecidos 75, gases de exaustão resfriados 125, gás de síntese 6 ou uma combinação destes. Em uma modalidade, o primeiro gás 35 pode ser fornecido de um ou mais dos dispositivos de unidades ou combustão aqui descritos.

[034]Em uma modalidade, o primeiro gás 35 é N₂ produzido por uma unidade de separação de ar (não mostrada). Isto fornece um uso benéfico do que seria, de outra forma, um produto residual. A maioria dos processos de gaseificação usa oxigênio quase puro na oxidação parcial de carvão para produzir gás de síntese. Este oxigênio é produzido por uma unidade de separação de ar (ASU) que separa o oxigênio e nitrogênio do ar ambiente. O nitrogênio produzido pelo ASU é tipicamente considerado como produto residual, e às vezes é injetado no gás de síntese limpo queimado por uma turbina de combustão a gás de síntese, em uma tentativa para reduzir as emissões de NO_x. Entretanto, em uma modalidade é contemplado que toda ou uma porção do gás nitrogênio pode ser utilizada no primeiro gás 35 para criar o gás combustível 45. Empregando-se nitrogênio residual anteriormente disponível do ASU, os requerimentos de energia do presente processo são substancialmente reduzidos. Também é notável que o *hardware* de combustão de baixo NO_x presente em uma turbina de combustão a gás natural não requer a adição de nitrogênio suplementar, em contraste com os requerimentos do *hardware* de uma turbina de combustão a gás de síntese.

[035]Em uma modalidade, uma ou mais dentre quantidade, pressão, temperatura e composição do primeiro gás 35 pode ser medida e controlada. Os métodos de controle e/ou medição de gases controlado são conhecidos.

[036]Uma vez produzido, como mostrado na Figura 2, o gás combustível 45 é alimentado à unidade de pré-mistura 40. Na unidade de pré-mistura 40, o gás combustível 45 é contatado com um segundo gás 55 para formar um gás de combustão 65.

[037]O segundo gás 55 contém pelo menos um agente oxidante. Em uma modalidade, o segundo gás 55 contém pelo menos um agente oxidante em uma quantidade suficiente para suportar a combustão do gás de combustão 65. O agente oxidante não é particularmente limitado. Os exemplos não limitantes de agente oxidante incluem ar ambiente, gás oxigênio, dióxido de nitrogênio, ozônio, e similares, e combinações destes. O segundo gás 55 pode ter oxigênio presente em uma quantidade igual ou maior do que de ar ambiente, ou cerca de 21%. Esta faixa inclui todos os valores e sub-faixas entre eles, incluindo 21%, maior do que 21%, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 96, 97, 98, 99, substancialmente 100% e 100% de oxigênio (O₂).

[038]Em uma modalidade, o segundo gás 55 é fornecido por um ASU. Em outra modalidade, o segundo gás 55 pode ser ar ambiente. Em outra modalidade, o segundo gás 55 pode ser fornecido por um compressor. O segundo gás 55 pode, alternativamente, ser uma combinação destes.

[039]Embora não mostrado, em uma modalidade, além do fornecimento do segundo gás 55 à unidade de pré-mistura 40 para mistura com o gás combustível 45, ou, além do contato do gás combustível 45 e do segundo gás 55 a uma frente de chama no dispositivo de combustão 50, o agente oxidante, agente oxidante comprimido, gás contendo oxigênio comprimido ou oxigênio pode ser adicionado a jusante do combustível queimando no dispositivo de combustão 50. Alimentando-se o agente oxidante adicional, por exemplo, oxigênio, em uma corrente de emissão pós-combustão pode reduzir os poluentes intensificando a oxidação de combustível não queimado e/ou monóxido de carbono na corrente de exaustão (75 na Figura 3).

[040]Em uma modalidade, o dispositivo de combustão 50 é configurado para contatar o gás combustível 45 com um segundo gás 55 a uma frente de chama. Deste

modo, o gás de combustão 65 pode ser formado na frente de chama. Em outra modalidade, quando uma unidade de pré-mistura 40 é utilizada, o gás de combustão 65 é formado antes de chegar a uma frente de chama (não mostrado), a frente de chama estando no dispositivo de combustão 50. Em uma modalidade, a frente de chama ocorre em uma zona de combustão primária (não mostrada) do dispositivo de combustão 50. O modo pré-misturado, onde o gás de combustão 65 é formado antes de chegar à frente de chama, pode resultar em menores emissões de poluentes devido à mistura intensificada e temperaturas mais baixas. O modo não pré-misturado, no qual o gás combustível 45 e segundo gás 55 são contatados a uma frente de chama do dispositivo de combustão 50, pode resultar em emissões mais elevadas de poluentes.

[041]O dispositivo de combustão 50 pode ser configurado para modo pré-misturado ou modo não pré-misturado. O dispositivo de combustão 50 pode ser uma turbina de gás, por exemplo. O dispositivo de combustão pode ser configurado para combustão de difusão, combustão Rich Quench Lean (RQL), ou uma combustão pré-misturada. Quando em modo não pré-misturado, o dispositivo de combustão 50 pode ser configurado para ocorrer em modo de combustão de difusão. Nestes casos, um combustor de difusão é utilizado. Quando em modo pré-misturado, o dispositivo de combustão 50 pode utilizar um "Rich Quench Lean" ("RQL") ou um combustor de pré-misturado. Estes tipos de combustores são conhecidos na técnica.

[042]O gás de combustão 65 na Figura 2 pode ser alimentado como desejado ao dispositivo de combustão 50.

[043]Outra modalidade fornece um sistema, compreendendo uma unidade de conversão 20 configurado para transformar um gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, uma unidade de vaporização 30 para produzir um gás combustível 45 empregando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, e uma unidade de pré-mistura 40 configurada para contatar o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, e forma um gás de combustão 65. Um exemplo desta modalidade é mostrado na Figura 3.

[044]Como mostrado na Figura 3, em uma modalidade, o combustível líquido 25 pode ser enviado e armazenado em um recipiente de armazenamento durante um

período de tempo antes de ser enviado à unidade de vaporização 30. Em outra modalidade, o combustível líquido 25 pode ser transportado por caminhão, ferrovia, oleoduto, ou navio à unidade de vaporização 30. Em outra modalidade, o combustível líquido 25 pode ser enviado à unidade de vaporização 30 através de uma combinação entre o recipiente de armazenamento e o transporte por caminhão, ferrovia, oleoduto ou navio. O combustível líquido 25 pode ser facilmente armazenado e transportado, e uma vantagem é obtida pelo fato de que a necessidade para integrar o processo de gás para líquido ou carvão para líquido com o processo de geração de energia é significativamente reduzida. Este também tem a vantagem de eliminar a necessidade para co-localizar o processo de gás para líquido ou carvão para líquido e o processo de geração de energia. Em outra modalidade, tal como mostrado na Figura 4, o combustível líquido 25 é alimentado diretamente à unidade de vaporização 30. A este respeito, a unidade de conversão 20 é fluidamente conectada à unidade de vaporização 30.

[045]Como mostrado na Figura 3, um dispositivo de combustão 50, que pode ser um dispositivo de combustão a gás natural, é alimentado com gás de combustão 65. A energia elétrica 105 é produzida. Um gás de exaustão aquecido 75 é alimentado a um gerador de vapor de recuperação de calor 60.

[046]Opcionalmente, como uma alternativa, toda ou uma porção do gás de exaustão aquecido 75 pode ser utilizada como o gás diluente no primeiro gás 35. Em uma modalidade, uma porção dos gases de exaustão 75 fornece aquecimento para o gerador de vapor de recuperação de calor 60, e uma porção é utilizada como o gás diluente no primeiro gás 35. Além disso, os gases de exaustão 75 podem ser empregados para aquecer ou vaporizar o gás combustível 45.

[047]O gerador de vapor de recuperação de calor 60 aquece uma alimentação de água 85 para produzir vapor de alta pressão 135 e de exaustão resfriado 125. O vapor de exaustão resfriado 125 pode ser alimentado a uma pilha (não mostrada) e descartado, ou pode ser reciclado a uma ou mais unidades descritas aqui como desejado. Por exemplo, o vapor de exaustão resfriado pode ser utilizado como um diluente no primeiro gás 35.

[048]O vapor de alta pressão 135 é alimentado a uma turbina a vapor 70 para produzir energia elétrica 105 e vapor de baixa pressão 145. O vapor de baixa pres-

são pode, se desejado, ser utilizado em uma ou mais unidades descritas aqui. Por exemplo, o vapor de baixa pressão pode ser utilizado na alimentação 2 à unidade de gaseificação 5.

[049] Outra modalidade fornece um processo, compreendendo a separação de um gás de síntese 6 em primeira e segunda porções 6a e 6b, transformando a primeira porção 6a do gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, produzindo um gás combustível 45 usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, contatando o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, para formar um gás de combustão 65, e queimando a segunda porção 6b de gás de síntese 6 com um dispositivo de combustão modificado 80. Um exemplo de um dispositivo de combustão modificado é uma turbina a gás modificada 80. Uma modalidade de acordo com este processo é descrito na Figura 7.

[050] Outra modalidade fornece um sistema, compreendendo uma unidade separadora 100 configurada para separar um gás de síntese 6 em primeira e segunda porções 6a e 6b, um unidade de conversão 20 configurada para transformar a primeira porção 6a de gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, uma unidade de vaporização 30 configurada para produzir um gás combustível 45 usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, uma unidade de pré-mistura 40 configurada para contatar o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, e formar um gás de combustão 65, e um dispositivo de combustão modificado 80 configurado para queimar a segunda porção 6b de gás de síntese 6. Um exemplo de um dispositivo de combustão modificado 80, que é modificado para queimar gás de síntese 6, é uma turbina a gás modificada 80a. Uma modalidade de acordo com este sistema é descrita na Figura 7.

[051] Como mostrado na Figura 7, um separador 100 é fornecido, que separa o gás de síntese 6 em primeira e segunda porções 6a e 6b. Uma vantagem é obtida na poligeração de energia elétrica e vapor de ambos um dispositivo de combustão a gás de síntese 80 e um dispositivo de combustão a combustível de combustão 50.

[052] Outra modalidade fornece um sistema, compreendendo uma unidade de tro-

ca configurada para enviar toda ou uma porção de uma corrente de gás de síntese 6 a um ou ambos de um primeiro dispositivo de combustão e uma unidade de conversão 20, a unidade de conversão 20 sendo configurada para transformar o gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, uma unidade de vaporização 30 configurada para produzir um gás combustível 45 do combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, e uma unidade de pré-mistura 40 configurada para contatar o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, e formar um gás de combustão 65. Um exemplo de tal sistema é mostrado na Figura 8.

[053] Outra modalidade fornece um processo, compreendendo o envio de uma primeira corrente de uma gás de síntese 6 para um primeiro dispositivo de combustão para combustão e, conseqüentemente, a troca de toda ou uma porção da primeira corrente longe do primeiro dispositivo de combustão, para produzir uma segunda corrente de gás de síntese 6, transformando a segunda corrente de gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, produzindo um gás combustível 45 usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, e contatando o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente oxidante, para formar um gás de combustão 65.

[054] Outra modalidade fornece um processo, compreendendo a separação de um gás de síntese 6 em primeira e segunda porções 6a e 6b, transformando a primeira porção 6a de gás de síntese 6 em um combustível líquido 25, produzindo um gás combustível 45 usando o combustível líquido 25 e um primeiro gás 35, o primeiro gás 35 tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente, contatando o gás combustível 45 com um segundo gás 55, o segundo gás 55 compreendendo pelo menos um agente de oxidação, para formar uma gás de combustão 65, e queimar a segunda porção 6b de gás de síntese 6 com um dispositivo de combustão modificado 80.

[055] O combustível líquido 25 produzido pelo processo de carvão para líquido (CTL) é, em muitas formas, superior em termos de propriedades de combustão e emissões de poluentes, para combustíveis equivalentes refinados de óleo cru (veja

Tabela 1).

[056]Tabela 1. Características de Combustível Diesel Fischer-Tropsch

| | Enxofre inferior D-975 | Califórnia CARB | Rentech (FTD) | EU (2005) | EPS (2006) |
|------------------|---------------------------|--------------------|------------------|--------------|---------------|
| Índice de cetano | >40 | >48 | 72 | >50 | >40 |
| Aromáticos | <35 | <10 | <4 | <10 | <35 |
| Enxofre (ppm) | <500 | <500* | <1 | <10 | <15 |
| Biodegradável | Não | Não | Sim | Não | Não |

[057]Contatando-se o combustível líquido 25 com o primeiro gás 35 e vaporizando-se (às vezes referido aqui como o processo LPP), transforma o combustível líquido 25 em um gás combustível 55 (às vezes chamado de gás natural sintético ou "LPP GAS™") que pode ser queimado em *hardware* de combustão de baixas emissões secas a gás natural convencional. O presente processo e sistema tornam possível evitar a necessidade de água ou vapor para obter níveis de emissões de NO_x baixos.

[058]Empregando-se o gás de síntese 6 para gerar gás de combustão 65, a unidade de gaseificação 5 não mais requereria operação contínua ou de carga base da turbina de combustão 80. Se a carga da turbina de combustão 80 é reduzida, o excesso de combustível líquido 25 produzido deve ser armazenado conforme necessário em tanques próximos, ou deve ser distribuído através de oleoduto, caminhão ou trem, etc. Se a turbina de combustão 80 é completamente desligada, as unidades de gaseificação e conversão 5 e 20 devem continuar a operar, armazenando ou distribuindo o combustível líquido 25 produzido como descrito para operação com parte da carga.

[059]Pela presente invenção, é possível utilizar um ou mais turbinas de combustão a gás natural convencional, cada uma combinada com um *skid* de LPP (ou unidade de vaporização 30) para transformar o combustível líquido 25 em gás LPP™ que será queimado pela turbina de combustão convencional. O *hardware* de turbina de combustão convencional/de *skid* de LPP™ poderia operar em "modo de pico" quando necessário, e permitiria toda a planta a responder a alterações de carga elétrica sem a necessidade de alterar a taxa de produção de gás de síntese 6. A turbina a gás deve ser operada em um modo de ciclo combinado, como descrito nas Figuras 7 e 8, ou em configuração de ciclo simples.

[060]É também possível desacoplar completamente a planta de gaseificação/carvão para líquido (CTL) e a usina (veja Figura 9). Os líquidos de carvão devem ser produzidos na planta de gaseificação/CTL e transportados para turbinas de combustão isoladas que são equipadas com a tecnologia de LPP™. Isto deve fornecer o benefício adicional para permitir a planta de gaseificação/CTL a ser localizada em qualquer local, incluindo um local em proximidade à fonte de carvão. Um local dentro das proximidades da fonte de carvão deve reduzir o custo de transporte para o carvão, e deve facilitar disposição da escória de produto residual resultante da planta de gaseificação.

[061]Pela presente invenção, o excesso de líquidos de carvão deve ser facilmente transportado às turbinas de combustão isoladas que incluem a tecnologia LPP™.

[062]A presente invenção possui vantagens adicionais inerentes. É possível reduzir significativamente o custo de capital da planta se um gaseificador de reserva não for necessário para a planta de gaseificação de carvão. A porção de *hardware* do gaseificador de uma planta de gaseificação de carvão opera à temperatura e pressão muito elevadas. Foi constatado que a confiabilidade do *hardware* do gaseificador é tal que a planta econômica pode requerer que um gaseificador reserva seja construído como uma “reserva de calor” no caso em que o gaseificador primário falhe ou requeira manutenção. O gaseificador reserva é necessário porque há um longo tempo requerido para reparar o gaseificador, e o gás de síntese 6 produzido não pode ser armazenado para ser usado ao mesmo tempo em que o gaseificador está sendo reparado. O *hardware* do gaseificador pode custar dezenas ou centenas de milhões de dólares em uma planta de IGCC típica.

[063]Outra vantagem é que a propriedade e operação da planta de CTL e usinas podem ser separadas. Uma das preocupações com plantas de IGCC é que o processo de gaseificação de carvão é um processo químico complexo no qual a indústria de energia não tem experiência extensa. Pela presente invenção, a planta de gaseificação/CTL de carvão pode ser desacoplada da planta de geração de energia. Isto permite uma companhia da planta de processos possuir e operar a planta de gaseificação/CTL, ao mesmo tempo em que uma utilidade ou produtor de energia independente pode operar uma planta de turbina de combustão, junto com o *skid* de LPP™.

[064]Os sistemas de Baixas Emissões Secas (DLE) usando combustão pobre e pré-misturada têm sido usados com sucesso com gás natural em turbinas de combustão para atender padrões rígidos de emissões. Entretanto, a queima de combustíveis líquidos em sistemas de DLE é ainda uma tarefa desafiadora devido à complexidade de vaporização de combustível e ar pré-misturado. Em uma modalidade, combustão pobre, pré-misturada e pré-vaporizada (LPP™) obtém baixas emissões de poluente ao mesmo tempo em que queima o combustível líquido, tal como querosene e óleo combustível.

[065]Em outra modalidade, o combustível líquido 25 pode ser produzido por métodos de conversão diretos, que evitam o uso de gás de síntese intermediário e que evitam a necessidade por conversão empregando FT ou outros processos. Adequadamente, em uma modalidade, estes processos de conversão diretos podem ser empregados no lugar de gaseificação 5 e conversão 20. Estes métodos de conversão diretos são conhecidos na técnica.

[066]Os exemplos não limitantes de métodos de conversão diretos incluem a conversão direta de carvão, refino de carvão com solvente, refino de carvão com solvente líquido, conversão direta de biomassa, conversão direta de resíduo de madeira e outros. Na conversão direta de biomassa, resíduo de madeira e outros, óleos de pirólise podem ser produzidos dos a partir da pirólise de biomassa, resíduo de madeira e outros em uma atmosfera inerte. Os exemplos não limitantes dos tipos de combustível líquido 25 que resultam destes métodos de conversão diretos incluem combustível de carvão refinado de solvente, combustível de carvão refinado de solvente líquido, óleo de pirólise, e similares, e combinações destes.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para operar uma planta de ciclo combinado com gaseificação integrada (IGCC), a planta de IGCC compreendendo um gaseificador para gaseificar carvão para produzir gás de síntese, um sistema de combustão de gás de síntese para queimar o gás de síntese para produzir eletricidade e um sistema de combustão de gás natural pré-misturado para queimar um gás diferente de gás de síntese para produzir eletricidade, o processo **CARACTERIZADO** por compreender:

operar o gaseificador para produzir gás de síntese a uma taxa substancialmente constante;

quando uma demanda atual de eletricidade for inferior a uma carga base correspondente à saída do gaseificador a uma taxa substancialmente constante:

transformar parte do gás de síntese proveniente do gaseificador em um líquido e armazenar o líquido; e

quando uma demanda atual de eletricidade for superior a uma carga base correspondente à saída do gaseificador a uma taxa substancialmente constante:

converter parte do líquido armazenado a um gás combustível usando um *skid* LPP ou uma unidade de vaporização para vaporizar o combustível líquido e combiná-lo com um primeiro gás, o primeiro gás tendo um teor de oxigênio menor do que o do ar ambiente; e

utilizar o gás combustível no sistema de combustão de gás natural pré-misturado para produzir eletricidade suficiente para suprir a porção da atual demanda elétrica que é superior a carga base correspondente à saída do gaseificador a uma taxa substancialmente constante.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por adicionalmente compreender a produção do gás de síntese a partir de uma fonte de carbono selecionada do grupo consistindo em carvão, lignita, carvão marrom, antracita, carvão sub-betuminoso, carbono particulado, combustíveis fósseis, hidrocarbonetos sólidos, hidrocarbonetos líquidos, óleo residual, óleo combustível de gravidade API baixa, óleo de areia de piche, óleo de xisto, resíduo de vácuo, coque de petróleo, resíduos de petróleo, asfalto, asfalto API, resíduo de coque, gás natural, cera, resíduos, betume, emulsão aquosa de betume (ORIMULSION™), biomassa, carboidratos, celulósicos, turfa, milho, palha, madeira, resíduos de madeira, adubo, lama de

esgoto, cascas de arroz, palha de arroz, cascas de aveia, casca de árvore de pinheiro, pneu e/ou combustíveis derivados de pneus, resíduo de furfural, "switchgrass" (gramínea), resíduo de oliveira, sansa, resíduo de árvore inteira, bagaço de cana de açúcar, lama de esgoto seco não digerido, lama de esgoto seco digerido, ourela de fabricação de tapete, tapete pós-consumidor, detritos de galinha, detritos de peru, pó de pavimento laminado, resíduo verde urbano, sedimento de polpa, caule de milho, grãos destiladores secos de planta de etanol e uma mistura destes.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a transformação do gás de síntese em líquido compreende um processo de Fischer-Tropsch.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o líquido armazenado é vaporizado antes de ser colocado em contato com o primeiro gás.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o líquido armazenado é vaporizado colocando-o em contato com o primeiro gás.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro gás compreende um ou mais dentre gás inerte, nitrogênio, argônio, hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, NO_x, SO_x, hidrocarboneto, metano, etano, propano, butano, amônia, gás fornecido por uma unidade separadora de ar, gases de exaustão, gases de exaustão aquecidos, gases de exaustão resfriados, gás de síntese ou uma combinação destes.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o teor de oxigênio no primeiro gás é suficientemente baixo, de modo que a combustão do gás combustível não é suportada.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro gás é substancialmente isento de oxigênio.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o teor de oxigênio no primeiro gás é suficientemente baixo, de modo que a auto-ignição do gás de combustão é atrasada ou diminuída.

10. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** por adicionalmente compreender, antes de produzir o gás combustível, enviar o combustí-

vel líquido a um recipiente de armazenamento, armazenar o combustível líquido no recipiente de armazenamento durante um período de tempo e remover o combustível líquido do recipiente de armazenamento.

11. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** por adicionalmente compreender, antes de produzir o gás combustível, transportar o combustível líquido por caminhão, ferrovia, oleoduto ou navio, ou uma combinação destes.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que um gás de combustão é formado a partir do gás combustível antes de chegar a uma frente de chama.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a planta de IGCC compreende adicionalmente uma unidade de separação de ar, o processo compreendendo adicionalmente:

fornecer uma corrente de gás rica em oxigênio da unidade de separação de ar para o gaseificador; e

utilizar uma corrente de gás rica em nitrogênio da unidade de separação de ar como o primeiro gás durante a produção do gás combustível.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a planta de IGCC inclui um único gaseificador.

Figura 1

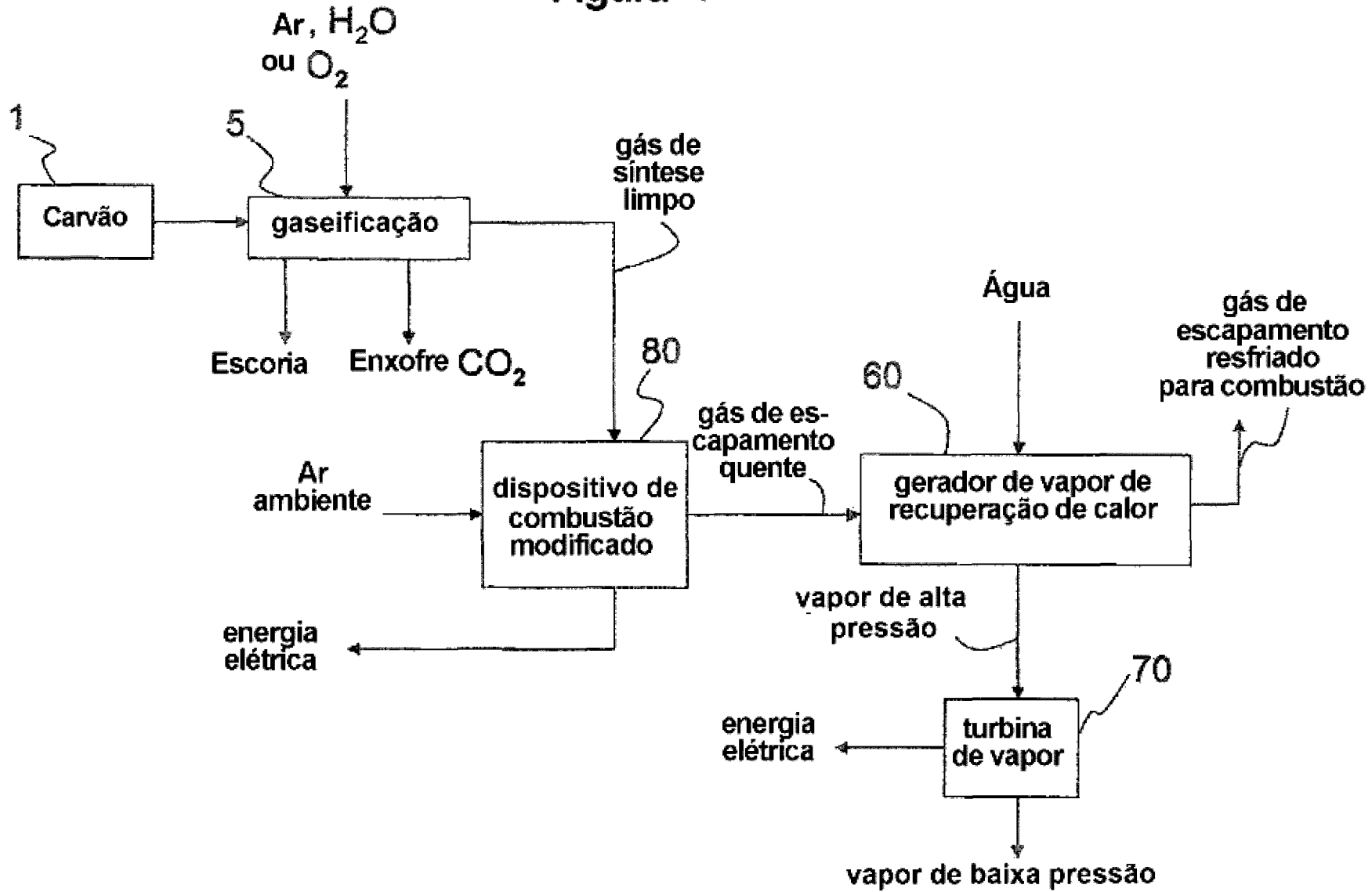


Figura 2

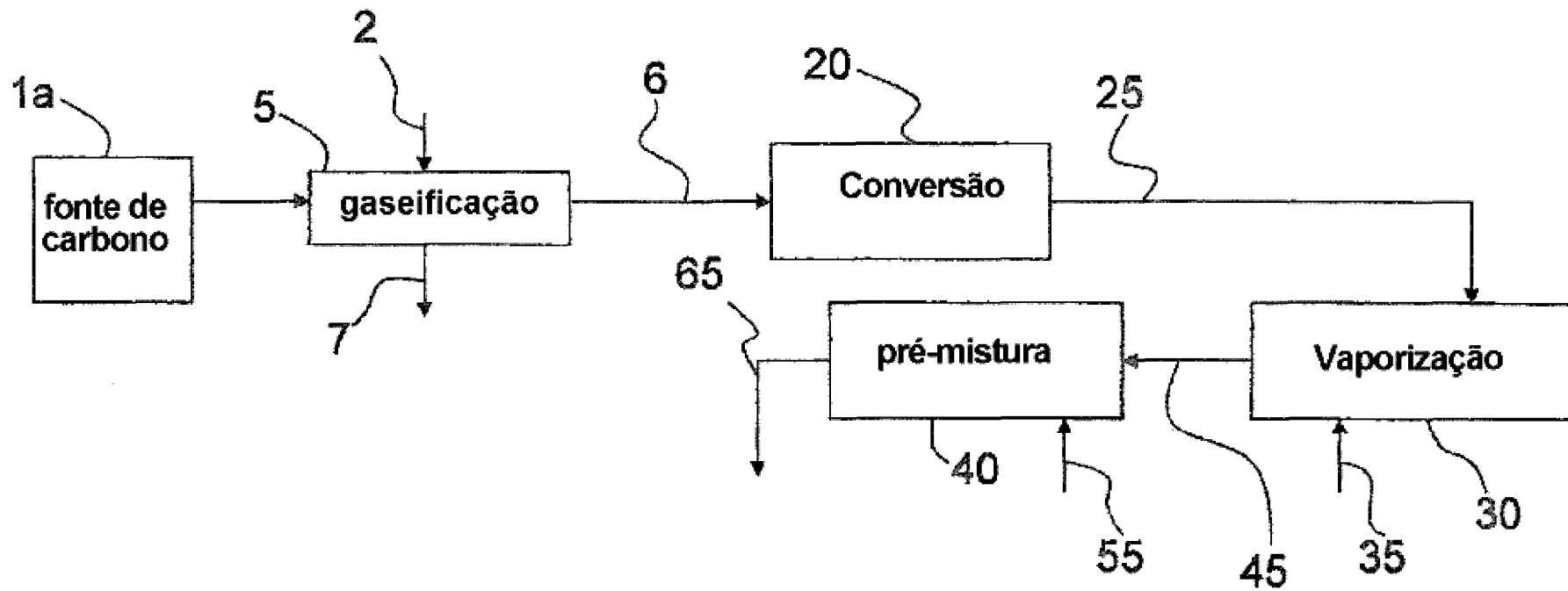


Figura 3

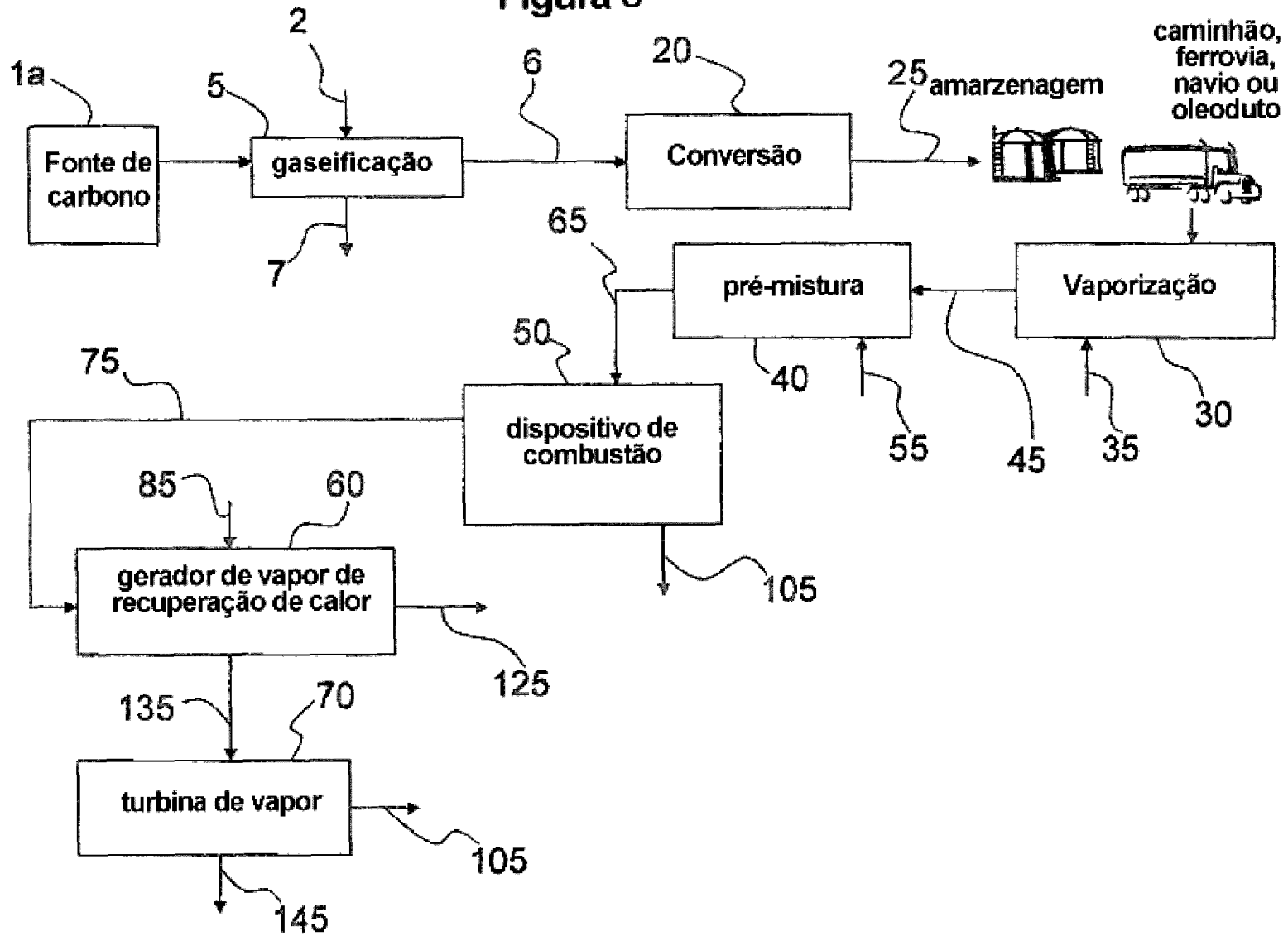


Figura 4

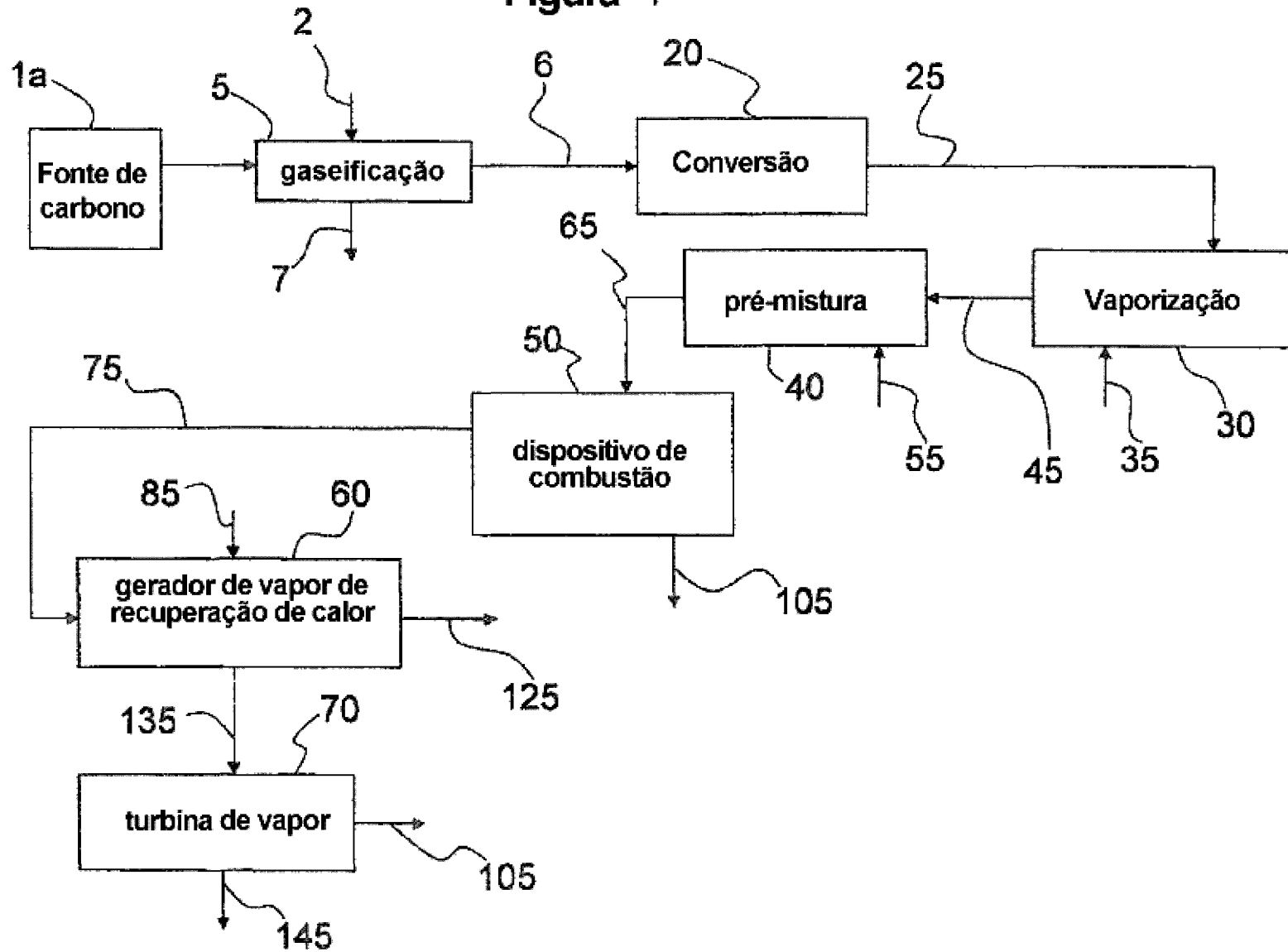


Figura 5

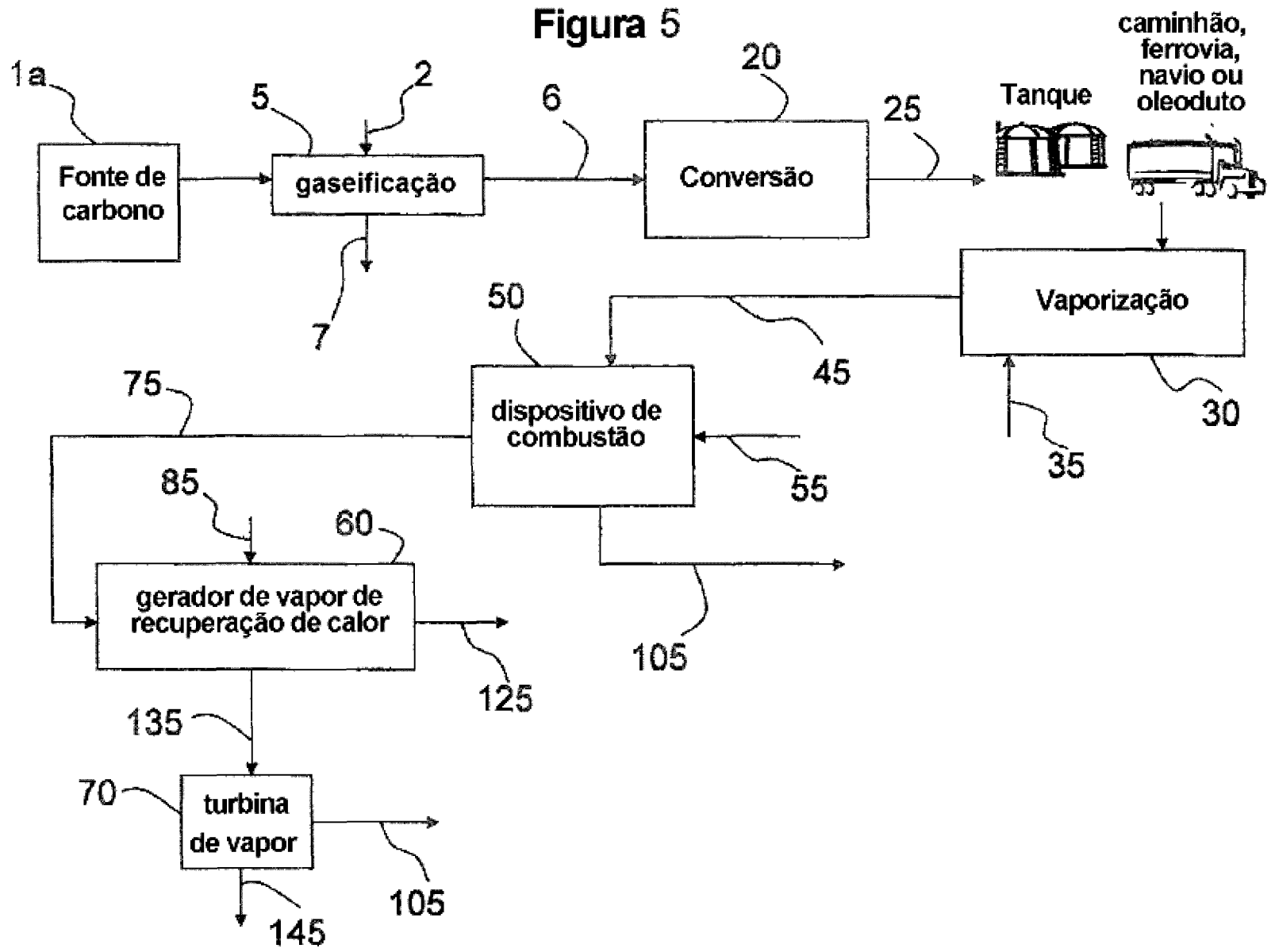


Figura 6

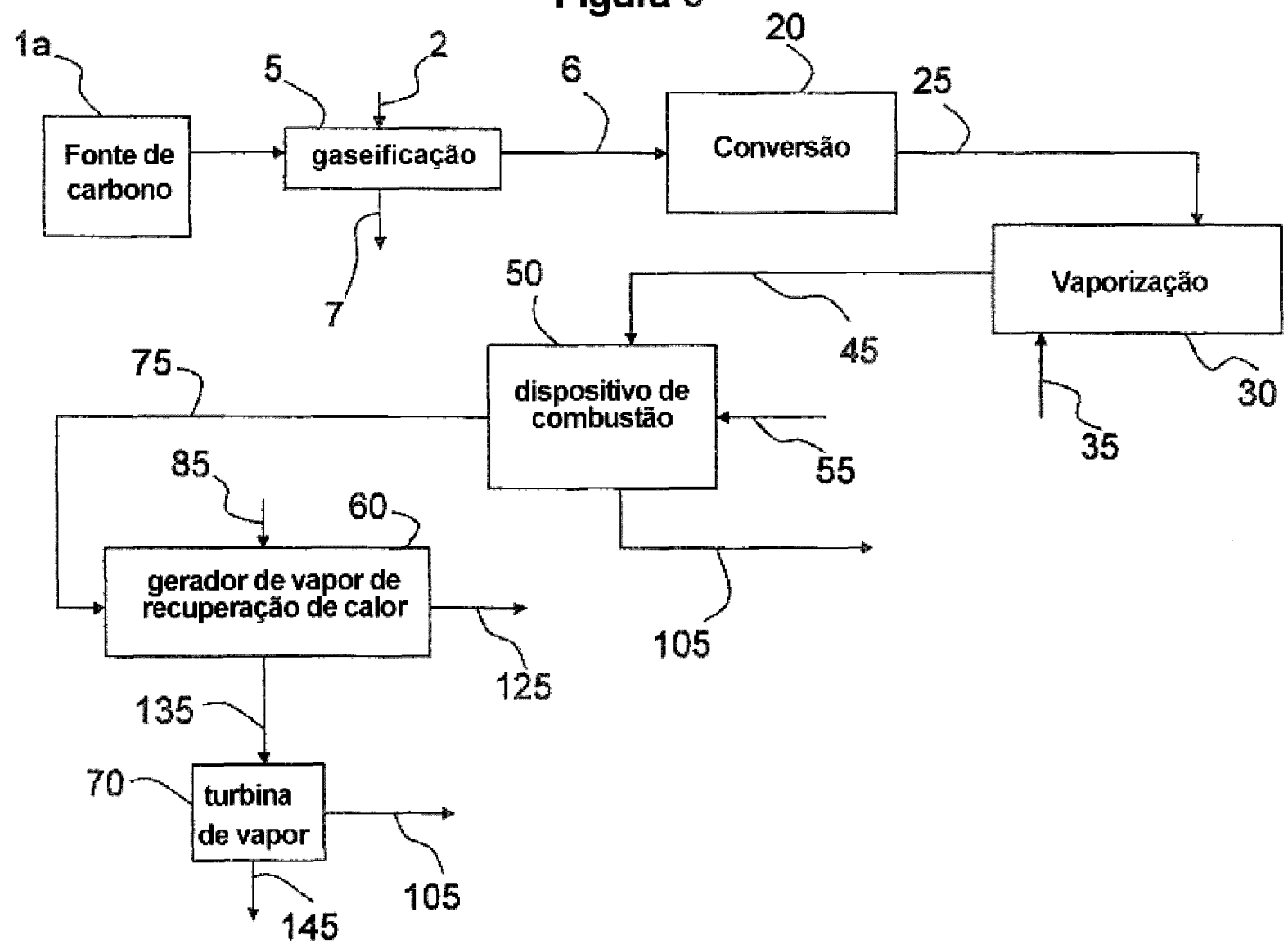


Figura 7

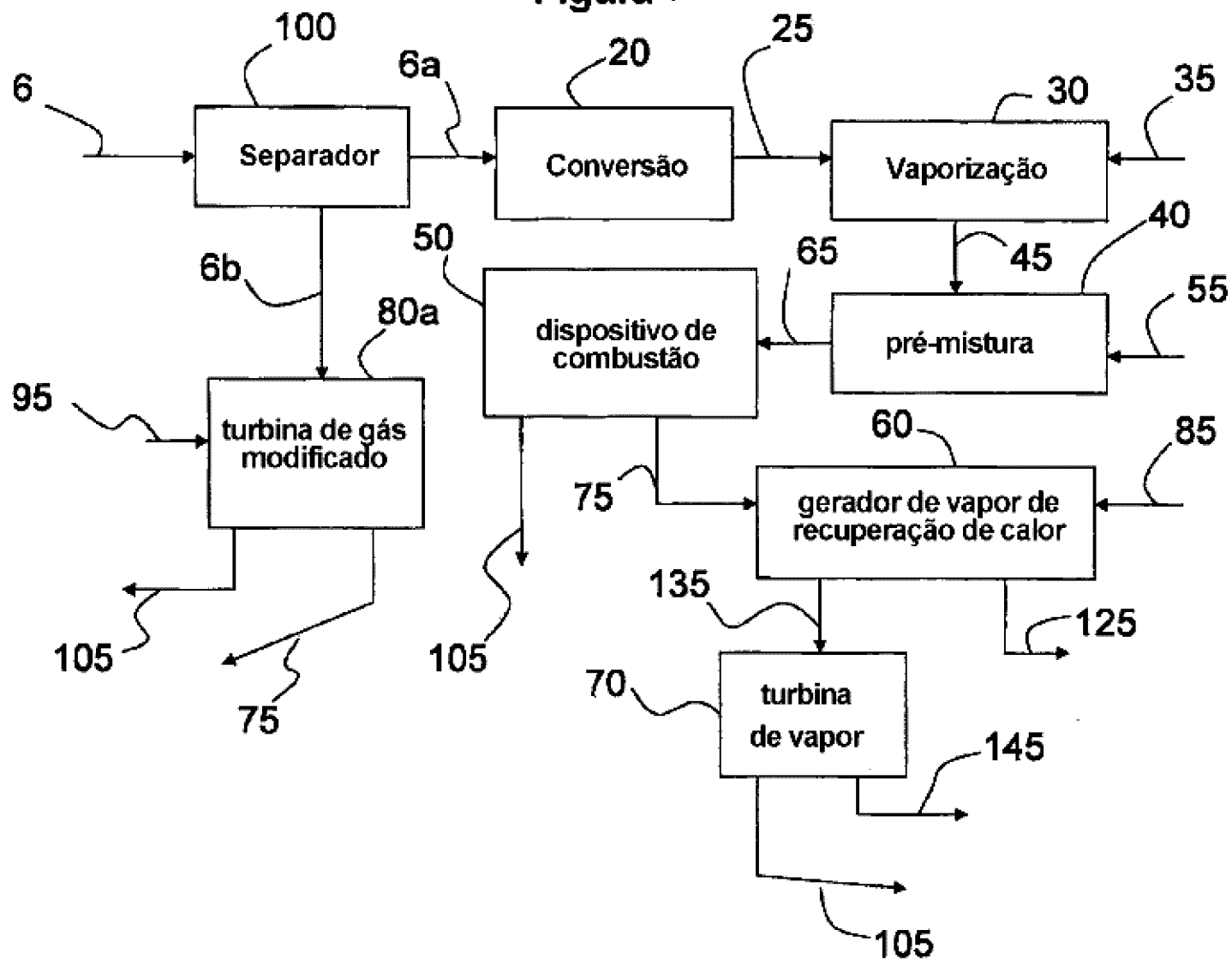


Figura 8

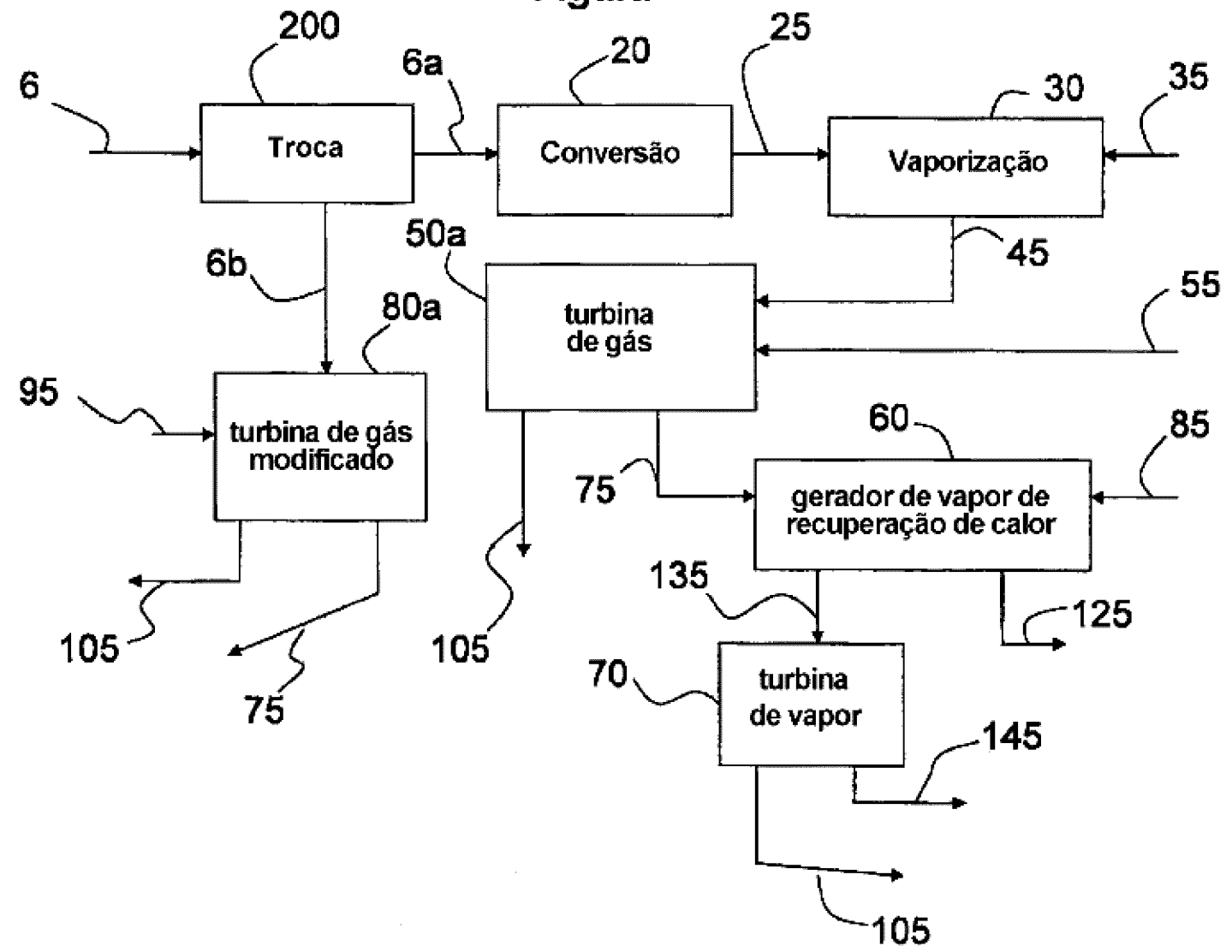


Figura 9

