



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

(11) PI 0713890-3 B1

(22) Data do Depósito: 03/07/2007

(45) Data de Concessão: 20/06/2017



(54) Título: PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIOETANOL E DE COPRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE UMA MATÉRIA-PRIMA VEGETAL AMILÁCEA

(51) Int.Cl.: C12P 7/06; C12P 5/02; C12F 3/10

(30) Prioridade Unionista: 03/07/2006 FR 0652767

(73) Titular(es): JOHN MAHLER

(72) Inventor(es): JOHN MAHLER

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIOETANOL E DE COPRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE UMA MATÉRIA-PRIMA VEGETAL AMILÁCEA**".

DOMÍNIO TÉCNICO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a um processo de produção de bioetanol e de coprodução de energia a partir de uma matéria-prima vegetal.

 A invenção tem notadamente por finalidade produzir, em escala industrial, bioetanol a partir de plantas amiláceas com uma cogeração ou coprodução de energia, utilizando a biomassa da planta no exemplo da pro-
10 dução de bioetanol, a partir da cana-de-açúcar que utiliza o bagaço da plan-
ta.

 Esse processo pode ser utilizado não somente para novas desti-
larias de bioetanol, mas também em destilarias existentes, adaptando-se às
instalações existentes.

15 Dentre os diferentes processos de produção de bioetanol a partir
de uma matéria-prima vegetal, distinguem-se três grupos: a) os recursos
sacaríferos, tais como a beterraba açucareira, as hastes açucaradas, tais
como a cana-de-açúcar ou o sorgo, as frutas; b) os recursos amiláceos, tais
como os grãos de milho ou de trigo e, c) os recursos lignocelulósicos.

20 PLANEJAMENTO TÉCNICO

 Em função da matéria-prima vegetal de partida, o processo de
produção de bioetanol comporta geralmente três grandes grupos principais
de operação, isto é, consecutivamente A) a preparação de um mosto, depois
B) a fermentação do mosto, visando a obtenção de um mosto fermentado,
25 depois D) a destilação do mosto fermentado, visando a produção de bioeta-
nol.

 A esses três grandes grupos de operações, pode-se acrescentar
um quarto grupo geral E) de operações que consiste em diversos tratamen-
tos dos coprodutos resultantes de cada um desses três grupos principais de
30 operações.

 O conjunto das operações A) de preparação do mosto visa a
preparar uma pasta ou um suco que comporta matéria-prima vegetal apta a

ser fermentada, isto é, uma solução aquosa de açúcares fermentáveis por levedos, e isto visando a obtenção de uma concentração a mais elevada possível, de maneira a reduzir as capacidades dos equipamentos necessários à preparação do mosto e às outras operações posteriores, considerando-se a limitação da produção eventual de inibidores de fermentação.

No caso de produção, a partir de recursos sacaríferos, a etapa específica da preparação do mosto consiste na extração da sacarose, por exemplo, por prensagem, ou lavagem com água quente, segundo técnicas conhecidas, permitindo a obtenção direta de um suco muito fermentável.

No caso de produção, a partir de recursos amiláceos, é preciso geralmente de início transformar o grão em açúcar solúvel e fermentável, por exemplo, segundo as técnicas de transformação do amido que são, por exemplo, conhecidas na fabricação do amido, ou ainda segundo as técnicas ditas da "via ácida".

A fermentação B) é baseada na atividade de microorganismos, cujo metabolismo fermentar leva à sua oxidação incompleta em etanol e em CO^2 .

Os desempenhos das operações de fermentação são essencialmente função do microorganismo utilizado (ou microorganismos utilizados), do meio de cultura sobre o qual age o microorganismo e do processo utilizado. O rendimento em álcool, o etanol, depende do controle desses diferentes parâmetros.

São essencialmente os levedos que são utilizados industrialmente para a produção de bioetanol.

A composição do meio de cultura, a partir do mosto, visa essencialmente a fornecer ao microorganismo utilizado as condições ótimas para seu metabolismo e a produção que lhe é exigida.

As tecnologias de fermentação utilizadas são diversas e conhecidas, e os progressos no domínio da fermentação visam essencialmente a melhorar a rentabilidade geral, tanto no que se refere à produtividade, quanto à taxa de transformação, recorrendo-se, por exemplo, a levedos, a enzimas específicas, etc.

Para se obter uma mistura fermentada (MF), a partir da matéria-prima vegetal (MPV), as etapas ou operações A) e B) podem ser agrupadas e/ou substituídas por outros métodos de produção de uma mistura fermentada (MF).

5 As técnicas de destilação D) utilizadas são também perfeitamente conhecidas, por exemplo, aquelas utilizadas na destilação de soluções alcoólicas, e elas só diferem umas das outras pelo esquema de destilação e a otimização dos balanços energéticos em correlação com as necessidades energéticas de cada operação.

10 Lembrar-se-á, todavia, que o custo da destilação está diretamente ligado ao teor em etanol, à qualidade do produto destilado, aos consumos de energias e esforços constantes são, portanto, necessários para dispor de um mosto fermentado de elevado teor em etanol.

15 As diferentes operações E) de tratamentos dos coprodutos que resultam dos três grupos principais de operações descritos acima têm um impacto importante, tanto no que se refere à economia dos diferentes processos de produção de bioetanol, quanto no que se refere aos aspectos ditos "ambientais".

20 Independentemente do recurso em matéria-prima vegetal utilizado, todos os processos chegam à obtenção, como coprodutos, de CO² e da biomassa.

25 No caso de um processo, a partir de recursos sacaríferos, por exemplo, a partir da cana-de-açúcar ou da beterraba açucareira, a glicose contida na planta, que é obtida por moagem ou por prensagem ou por lavagem com água quente, é diretamente fermentável e as vinhaças oriundas da fermentação são ricas em matérias orgânicas (+/- 80%) e em matérias minerais (+/- 20%) que apresentam problemas para sua eliminação.

30 No caso da cana-de-açúcar, o bagaço, que constitui a biomassa restante nos moinhos, após extração do suco açucarado, pode ser queimado para a coprodução de energia e sua combustão abrange as necessidades em calor e em eletricidade das unidades de produção do bioetanol, devido ao poder calorífico desse tipo de biomassa.

No caso de um processo, a partir de recursos amiláceos, o amido contido no grão deve inicialmente ser convertido em açúcar(es) fermentável(is), por exemplo, pela aplicação do método enzimático, do método ácido, ou do método ao malte.

5 Assim, a vinhaça dita "bruta" obtida após destilação comporta essencialmente água e biomassa com levedos produzidos no decorrer da fermentação. A digestibilidade permite fazer notadamente um complemento nutricional.

10 Assim é que, após separação da fração sólida da vinhaça, por exemplo, por centrifugação, depois por desumidificação e concentração da fração líquida da vinhaça, obtém-se o produto dito "DDGS" (*Distiller Dried Grain with Soluble*) que é utilizado notadamente para a alimentação animal.

A vinhaça pode também ser utilizada para a produção de agente fertilizante ou pode, ainda, ser transformada em energia.

15 Tentativas foram feitas para queimar a vinhaça após concentração, ou enviando-a a reatores para produzir gás metano.

Todavia, os problemas técnicos encontrados - tais como por exemplo, a colmatagem ou o bujonamento dos tubos das caldeiras - não permitiram uma utilização rentável na escala industrial desses tipos de tratamentos da vinhaça.

20 O conjunto dos processos de produção conhecidos de bioetanol, a partir de plantas amiláceas e açucareiras apresentam assim um balanço econômico e notadamente energético, ainda insuficiente, assim como um balanço ambiental muito negativo.

25 Foi proposto no documento US-A-4.337.123 de 1982 um processo de produção de álcool combustível, a partir de plantas fermentadas "sem vinhaça".

Esse processo propõe, após a fermentação e antes de destilação, aplicar um tratamento no decorrer do qual várias substâncias contidas no mosto fermentado são retiradas, de forma que os meios de destilação sejam alimentados por um suco "purificado", a fim de que a etapa de destilação produza apenas álcool e não produza vinhaça.

O processo descrito nesse documento recorre assim a um tratamento por precipitação química, notadamente por acréscimo de um agente floculante, depois a uma operação de decantação.

5 Esse processo é, particularmente, complexo de utilizar, oneroso e não apresenta notadamente nenhum balanço energético favorável, necessitando da utilização dos novos produtos suplementares para a obtenção da precipitação química.

10 O balanço energético desfavorável é notadamente devido ao fato de o conjunto dos produtos "sólidos" separados por decantação comportar uma proporção de matéria seca muito insuficiente para que sua combustão posterior seja de um rendimento suficiente, isto é, que as operações de secagem prévia a essa combustão necessitam do fornecimento de uma quantidade de energia fóssil externa muito importante. Em outros termos, a umidade do conjunto dos produtos "sólidos" separados por decantação (ou
15 fase sólida) é muito elevada, para que o processo apresente um balanço energético satisfatório.

Foram propostos, no documento EP-A2-0.048.061, de 1981, um processo e um aparelho de tratamento da vinhaça no âmbito de um processo geral de produção de álcool, a partir da cana-de-açúcar, visando otimizar
20 o balanço energético global do processo de produção do álcool.

Esse processo propõe concentrar matérias sólidas e solúveis contidas na vinhaça, depois queimá-las para se obter o vapor reutilizado sob diferentes formas, notadamente o processo de produção de álcool.

25 A combustão da vinhaça concentrada é muito difícil e deve ser realizada em caldeiras muito complexas e onerosas, similares às caldeiras que se utilizam na indústria da celulose para queimar o licor negro ("*black liquor*") concentrado.

Foram propostos, no documento WO-A1-2004/113549, processos de produção de etanol e de metano, a partir da biomassa, cujos desempenhos são melhorados por controle e modificações dos parâmetros da biomassa utilizada. Um dos processos consiste como variante, previamente à
30 fermentação ou à destilação, em separar da biomassa as proteínas que es-

tão aí presentes, assim como o som que poderia estar aí presente.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção visa a propor um novo processo de produção de bioetanol e de coprodução de energia, a partir de uma matéria-prima vegetal amilácea e que se caracteriza essencialmente pelo fato de comportar uma etapa, intervindo antes da destilação, de filtragem, de lavagem e de prensagem, permitindo separar a fase líquida da fase sólida do mosto fermentado.

10 A invenção propõe assim um processo de produção de bioetanol e de coprodução de energia, a partir de uma matéria-prima vegetal MPV amilácea, processo do tipo que comporta pelo menos as seguintes etapas sucessivas, consistindo em:

- A)B) se obter a partir do total ou de parte da matéria-prima vegetal MPV uma mistura fermentada MF;
- 15 - D) destilar pelo menos em parte essa mistura fermentada (MF) para se obterem o etanol e a vinhaça leve VL;
- E1) produzir pelo menos um primeiro combustível F1 para a coprodução de energia, notadamente térmica e/ou elétrica, utilizando pelo menos uma parte da vinhaça leve VL;
- 20 caracterizado pelo fato de o processo comportar, previamente à etapa D) de destilação e após a obtenção A)-B) de mistura fermentada, pelo menos uma etapa intermediária que consiste em separar C1), por filtragem e prensagem, a fase líquida PL e a fase sólida PS da mistura fermentada MF, de tal maneira que a proporção em peso da matéria seca dessa fase sólida PS está
- 25 compreendida entre aproximadamente 40% e aproximadamente 45%, e pelo fato de essa fase líquida PL da mistura fermentada MF constituir pelo menos uma parte da mistura fermentada que é destilada no decorrer da etapa D) de destilação.

30 Essa etapa E1) de produção de pelo menos um primeiro combustível consiste em produzir ao gás metano, a partir da vinhaça leve VL, e eventualmente a partir das flegmassas provenientes da retificação e da desidratação do etanol.

Graças à invenção, é possível se obter uma biomassa que é queimada para produzir a energia, e cujo poder calorífico é análogo àquele do bagaço e, como no caso do álcool produzido a partir da cana-de-açúcar, quase sem necessitar de recorrer a uma energia fóssil externa.

5 Além disso, as qualidades da vinhaça leve obtida após destilação são tais que permitem produzir metano em condições ótimas de rendimento.

 Após metanização, a fase líquida assim obtida pode sofrer um tratamento complementar que chega à produção de água reutilizável na aplicação do processo, de acordo com a invenção, ou jogada no meio natural. A
10 qualidade dessas águas respondem às exigências e normas ambientais as mais severas. A metanização produz, também, lamas em pequena quantidade que, após secagem, podem constituir, por exemplo, produtos de modificações dos solos.

15 Tratamentos suplementares permitem a reutilização das águas no âmbito da aplicação do processo, de acordo com a invenção, graças à quantidade muito pequena de cargas poluentes na saída da metanização.

 De acordo com uma outra característica do processo, de acordo com a invenção, ele comporta uma etapa E2) de produção de pelo menos
20 um segundo combustível que consiste em desumidificar essa fase sólida PS da mistura fermentada MF para produzir um bloco de material, cuja proporção em peso de matéria seca é superior a 50%, esse bloco estando apto a ser queimado, na totalidade ou em parte, em uma caldeira e/ou esse bloco estando apto a ser utilizado, na totalidade ou em parte, para a produção de
25 um produto (DDGS) utilizado notadamente para a alimentação animal.

 Essa fase sólida PS da mistura fermentada MF é, por exemplo, desumidificada por secagem.

 Todavia, essa operação de secagem necessita apenas de muito pouca energia que pode, por exemplo, ser constituída pela energia térmica
30 contida nas fumaças FUM da caldeira. A secagem não necessita, portanto, de energia fóssil externa, nem de vapor produzido no âmbito do processo, de acordo com a invenção, e o poder calorífico do bloco "secado" é assim

ainda aumentado, de maneira muito econômica do ponto de vista do balanço energético global do processo.

Os gases (G) emitidos pela fase sólida, quando da secagem são tratados para extrair, na totalidade ou em parte, o etanol que esses gases
5 contêm, por meio de processos, incluindo, mas não limitados à lavagem com água dos gases, à passagem dos gases sobre um carvão ativo, etc.

Aumenta-se ainda o rendimento do processo em matéria de produção do etanol.

De acordo com uma outra característica do processo, segundo a
10 invenção, esse primeiro combustível (o metano), na totalidade ou em parte, e esse segundo combustível (o bloco de material obtido a partir da fase sólida), na totalidade ou em parte, são queimados em uma mesma caldeira. Isto permite uma melhor combustão do bloco, ou "cake", utilizando uma câmara de combustão de dimensões menores.

De acordo com um outro aspecto da invenção, a maior eficácia
15 da etapa C1) de separação da fase líquida PL e da fase sólida da mistura fermentada MF, permitindo que a proporção em peso da matéria seca dessa fase sólida (PS) esteja compreendida entre aproximadamente 40% e aproximadamente 45%, é vantajosamente obtida pelo fato de essa etapa de se-
20 paração C1) ser realizada por meio de um filtro prensa adaptado a esse uso.

Sempre para melhorar os desempenhos do processo de separação das fases líquida e sólida, isto é, para aumentar a aptidão da mistura fermentada a ser filtrada:

- previamente a essa etapa C1) de separação, o processo com-
25 porta uma etapa no decorrer da qual a temperatura da mistura fermentada é levada a uma temperatura T de separação, compreendida entre aproximadamente 55°C e aproximadamente 65°C;

- previamente a essa etapa C1) de separação, o processo com-
30 porta uma etapa no decorrer da qual o pH da mistura fermentada (MF) é aumentado para ser levado a um valor compreendido entre aproximadamente 5,5 e aproximadamente 6,5, o pH da mistura fermentada sendo, por exemplo, aumentado por acréscimo de pelo menos um componente alcalino;

- previamente a essa etapa C1) de separação, o processo comporta uma etapa no decorrer da qual se acrescenta(m) à mistura fermentada um ou vários adjuvantes (ADJ) de filtração e/ou de precipitação dos elementos inibidores da metanização e nefastos a um tratamento econômico dos efluentes líquidos da metanização.

O processo comporta uma etapa intermediária C2) de lavagem dessa fase sólida separada da mistura fermentada, de maneira a recuperar a maior quantidade possível do etanol residual contido na fase sólida.

Essa etapa C2) de lavagem da fase sólida separada PS da mistura fermentada é vantajosamente realizada por injeção de água de lavagem no filtro prensa de tal maneira que pelo menos uma parte do líquido de lavagem LL muito rica em etanol é acrescentada automaticamente à fase líquida da mistura fermentada a destilar.

O processo, de acordo com a invenção, permite, industrialmente, produzir simultaneamente o bioetanol e a energia, notadamente devido ao controle da proporção de matéria seca da fase sólida e devido à qualidade (quase ausência de matérias sólidas em suspensão) da fase líquida antes da destilação.

BREVE DESCRIÇÃO DA FIGURA

Outras características e vantagens da invenção aparecerão com a leitura da descrição que vai ser feita a seguir, dada a título de exemplo não-limitativo, para a compreensão da qual se reportará ao desenho anexado, no qual a figura única é um esquema que ilustra um exemplo de um processo, de acordo com a invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS FIGURAS

Será descrito então, com referência à figura única, um exemplo de aplicação do princípio de separação/filtração, de acordo com a invenção, das fases líquida e sólida que é aplicado no caso ao mosto fermentado antes da destilação.

A matéria-prima vegetal MPV amilácea sofre, por exemplo, uma primeira etapa A de preparação de um mosto.

Trata-se, por exemplo, quando a matéria-prima vegetal MPV é

um cereal, de subetapas de moagem dos cereais, depois de sacarificação e liquefação da mistura moída.

A matéria-prima vegetal MPV pode ser constituída diretamente de grãos, tais como o milho e o trigo, a moagem chegando, então, a preparação de uma farinha que é ela mesma preparada, visando a obtenção do mosto.

O mosto é assim uma pasta elaborada a partir da matéria-prima vegetal MPV que está apta a ser fermentada.

O processo comporta em seguida uma etapa B de fermentação do mosto, visando obter uma mistura fermentada MF apta a ser destilada, também denominada o mosto fermentado MF.

De maneira conhecida, o dióxido de carbono CO^2 é um coproduto dessa etapa B de fermentação.

O processo comporta, em seguida, a etapa D de destilação, permitindo obter o bioetanol, isto é, o produto principal do processo que comporta as etapas sucessivas A, B e D, assim como um coproduto denominado vinhaça que é uma mistura, notadamente rica em água.

Na saída da etapa B de fermentação, o mosto fermentado MF sofre imediatamente, isto é, antes da destilação D e durante uma operação intermediária C1, uma operação de separação física da fase líquida PL e da fase sólida PS do mosto fermentado MF.

A fase líquida PL do mosto fermentado MF é enviada à destilação, isto é, ele sofre a etapa D de destilação, chegando à produção de bioetanol e à produção de um coproduto líquido no caso denominado a vinhaça leve VL.

O fato de, de acordo com os ensinamentos da invenção, a operação de destilação ser aplicada à única fase líquida PL do mosto fermentado MF permite notadamente que se utilizem equipamentos de dimensões e de capacidades reduzidas em relação a operações clássicas de destilação de um produto com duas fases, líquida e sólida, misturadas.

A separação da fase líquida PL do mosto fermentado MF é obtida mecanicamente por filtragem e prensagem, de preferência por meio de

um filtro-prensa e/ou em variante de um filtro e de uma prensa que funciona em contínuo ou descontínuo.

Essas primeiras operações físicas que chegam à separação da fase líquida PL e da fase sólida PS do mosto fermentado são designadas na
5 figura pela etapa C1.

A qualidade da separação feita, de acordo com a invenção, depende da capacidade ou aptidão da mistura fermentada MF a ser filtrada.

Essa aptidão pode, por exemplo, ser expressa sob a forma do parâmetro dito "CST" que é medido segundo métodos normalizados bem
10 conhecidas do técnico.

No âmbito da presente invenção, foi descoberto que o controle e/ou a modificação de certos parâmetros da mistura fermentada obtida, a partir da matéria-prima amilácea aumenta de maneira importante essa apti-
dão a ser filtrada e, portanto, a proporção em peso da matéria seca obtida.

15 O primeiro desses parâmetros é a temperatura T, dita no caso da temperatura de filtragem, da mistura, quando é introduzida nos meios de separação utilizados e, por exemplo, em um filtro-prensa.

Assim, previamente à etapa de separação, o processo comporta uma etapa no decorrer da qual a temperatura da mistura fermentada MF é
20 levada, ou mantida, a uma temperatura T de separação que está compreendida entre aproximadamente 55°C e aproximadamente 65°C. Esse controle da temperatura T de separação pode resultar diretamente das etapas prévias de tratamento da matéria-prima, visando a obtenção da mistura fermentada, e pode, por exemplo, ser obtido sem consumo de energia suplementar,
25 a mistura fermentada devendo, de todas as maneiras, ser levada a 65°C, antes da destilação.

O segundo desses parâmetros é o pH da mistura, quando é introduzida nos meios de separação utilizados.

Assim, previamente à etapa de separação, o processo comporta
30 uma etapa no decorrer da qual o pH da mistura fermentada MF é aumentado para ser levado a um valor compreendido entre aproximadamente 5,5 e aproximadamente 6,5. Por exemplo, o pH da mistura fermentada MF é au-

mentado por acréscimo de pelo menos um componente alcalino, incluindo, mas não limitado a, o carbonato de cálcio CaCO_3 ou o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 .

5 Constata-se, além disso, que esses dois parâmetros (Temperatura T e pH) são ligados quanto à amplitude da mistura fermentada a ser separada, isto é, que se pode estabelecer uma série de curvas indicando o valor do CST em função da temperatura T e para um valor determinado do pH (ou inversamente).

10 Além disso, os valores desses parâmetros dependem da matéria-prima amilácea utilizada.

Ainda é possível melhorar a aptidão da mistura a ser filtrada, recorrendo a um adjuvante ADJ de filtragem, por exemplo, à base de polímeros.

15 Os subprodutos sólidos resultantes da separação física em C1 podem sofrer, conforme ilustrado no caso, uma subetapa C2 de lavagem dos produtos sólidos separados.

20 A lavagem é feita, por exemplo, por injeção de água de lavagem no filtro-prensa, com no mínimo a mesma temperatura que aquela da mistura fermentada MF. Após lavagem, a água de lavagem é denominada o líquido de lavagem LL e esse líquido de lavagem é reutilizado da seguinte maneira.

O líquido de lavagem LL de forte teor em etanol é reutilizado total ou parcialmente, sendo misturado à fase líquida PL do mosto fermentado MF, antes da destilação D.

25 No caso da utilização do filtro-prensa, essa "mistura" é automática à "saída" do filtro-prensa.

Recupera-se assim uma parte do etanol contido na fase sólida PS. A recuperação desse etanol em um estágio posterior seria complexa e onerosa.

30 De acordo com o processo, conforme a invenção, de produção de bioetanol e de coprodução de energia, a vinhaça leve VL sofre em seguida uma etapa E1 de produção de um primeiro combustível F1, que é no ca-

so metano.

Essa etapa E1, dita de metanização, é assim aplicada à vinhaça leve VL, cujas qualidades são ótimas para isso, notadamente pelo fato de a vinhaça não conter praticamente nenhum componente sólido em suspensão.

5 A produção do gás metano ou biogás é, por exemplo, obtida por tratamento por via anaeróbica. Por acidogênese e metanogênese, obtém-se metano que constitui o primeiro combustível F1 obtido segundo o processo da invenção que pode, em seguida, ser utilizado, quando de uma etapa PG, para coproduzir a energia.

10 A produção de gás metano é obtida por metanização, a partir da vinhaça líquida - dita vinhaça leve VL - oriunda da destilação, assim como a partir das "flegmasses" FG resultantes das etapas conhecidas de retificação e de desidratação do etanol, após a etapa de destilação.

15 A vinhaça leve VL tem um baixo teor em nitrogênio, por que o nitrogênio presente na matéria-prima vegetal amilácea e nos levedos utilizados para a fermentação, foi eliminada em grande parte, graças à operação de separação das fases líquida e sólida, antes da destilação. Essa metanização é particularmente vantajosa e eficaz, à medida que a fase líquida tem um baixo teor em nitrogênio, o nitrogênio sendo um inibidor da metanização.

20 No decorrer da etapa PG, equipamentos incluindo, mas não limitados a: um gerador; uma caldeira; uma turbina a gás; um motor, alimentados com metano podem produzir energia incluindo, mas não limitada à eletricidade; ao vapor d'água; água quente, etc.

25 No exemplo ilustrado na figura única, o metano F1 é queimado em uma caldeira que é, por exemplo, uma caldeira para a produção de vapor d'água. A caldeira produz também fumaças residuais FUM.

Dispõe-se assim de um ciclo muito eficaz de coprodução de energia, a partir do combustível oriundo da vinhaça leve VL.

30 Os efluentes líquidos produzidos, quando da etapa E1 da gaseificação (metanização), podem ser tratados, no decorrer de uma ou de várias etapas de tratamento, por via aeróbica complementar, entre outros, a fim de se obter um efluente líquido purificado e/ou águas reutilizáveis no processo,

de acordo com a invenção.

No âmbito da coprodução ou cogeração de energia segundo o processo, de acordo com a invenção, a fase sólida PS do mostro fermentado MF, isto é, as matérias residuais provenientes da fermentação B, e ela é
5 também facilmente transformada em energia.

Devido à técnica de separação por filtragem e prensagem, notadamente em um filtro-prensa, a proporção em peso da matéria seca da fase sólida PS obtida é superior a 40% em peso e está, por exemplo, compreendida entre aproximadamente 40% e aproximadamente 45%.

10 A etapa E2, de produção do segundo combustível é uma etapa de desumidificação, por exemplo, por secagem e/ou por qualquer outro processo físico adaptado, que consiste em desumidificar a fase sólida PS do mosto fermentado MF para produzir um bloco ou bolo secado F2, também denominado "cake" que é então um elemento combustível apto a ser facil-
15 mente queimado.

Com efeito, a etapa de desumidificação permite dispor de um bloco combustível, cujo teor em matéria seca é, então, superior a 50%, isto é, uma taxa que permite uma boa combustão.

O bloco constitui assim, no sentido da invenção, o segundo produto combustível F2 para a coprodução de uma segunda energia, no decorrer de uma segunda etapa de coprodução de energia.
20

Esse combustível F2 pode assim ser, por exemplo, queimado em uma caldeira que produz a energia incluindo, mas não limitada à eletricidade, ao vapor d'água, à água quente, etc.

25 Esse combustível F2 é no caso, de preferência, queimado em uma caldeira que é, no caso, a mesma caldeira CH que aquela na qual se queima o metano F1.

Os meios utilizados para as coproduções PG de energia lançam também fumaças FUM e/ou gases que podem ser recuperados no decorrer de uma etapa R e que podem notadamente ser utilizados como fonte de energia, quando da etapa E2 de desumidificação da fase sólida.
30

O calor contido nessas fumaças é recuperado por meio de um

trocador. Essa energia de secagem é assim econômica, porque ela é recuperada, sem que seja necessário recorrer a vapor produzido pelas caldeiras no âmbito do processo, nem à energia fóssil externa.

Notar-se-á também que essa etapa chega à produção de cinzas.

- 5 Graças às duas etapas E1 e E2 de produção dos dois combustíveis F1 e F2 que são, em seguida, transformados em energia, o processo, de acordo com a invenção, é um processo de produção de bioetanol e de coprodução de energia PG, pois não somente a produção de bioetanol pode ser "auto-suficiente" em energia, mas o processo chega à coprodução de um
- 10 excedente de energia que pode ser comercializada sob as formas incluindo, mas não limitadas, ao vapor d'água, à água quente, à eletricidade, etc.

- A combustão da fase sólida PS de elevado teor em matéria seca pode ser feita com facilidade em uma caldeira para a biomassa, caso se compare essa combustão a todas as tentativas precedentes de combustão
- 15 de vinhaças concentradas, sem separação prévia das fases sólida e líquida.

Os resíduos da combustão dos dois combustíveis ou combustões, caso eles sejam feitos separadamente, podem ser comercializados após secagem, por exemplo, sob a forma de produtos de contaminação dos solos.

- 20 Em função de diferentes parâmetros e notadamente da matéria-prima vegetal MPV utilizada, pode-se utilizar a fase líquida PL na totalidade ou em parte, visando a produção do metano F1.

- Da mesma forma, pode-se utilizar a fase sólida PS na totalidade ou em parte, visando à produção do combustível sólido ou bloco F2, e/ou
- 25 utilizá-lo na totalidade ou em parte para a produção de DDG (*Distiller Dried Grain*) que é utilizado notadamente para a alimentação animal.

Esse DDG é de uma qualidade bem superior àquela atualmente disponível, notadamente porque o teor em etanol residual é muito baixo.

- Esse teor residual muito baixo resulta inicialmente da técnica de
- 30 separação utilizada.

O teor em etanol do bloco F2 é ainda reduzido graças a uma etapa C2) de lavagem da fase sólida PS separada da mistura fermentada

MF.

Se a lavagem for feita no exterior dos meios de filtragem e de prensagem, o líquido de lavagem pode ser reutilizado no total ou em parte sendo misturado ao mosto a montante da etapa B de fermentação. É assim possível misturar o líquido ao mosto, antes da etapa de fermentação e/ou utilizá-lo para a etapa de preparação. Faz-se assim, além disso, uma economia de uma parte d'água utilizada para a preparação e/ou a fermentação.

Uma separação do líquido de lavagem, após lavagem, em duas vias distintas, pode ser feita em função do teor em etanol do líquido de lavagem.

Vantajosamente, quando a separação de PL e de PS é feita por meio de um filtro-prensa, sob a etapa C2) de lavagem da fase sólida separada PS da mistura fermentada MF é realizada por injeção de água de lavagem no filtro-prensa de tal maneira que pelo menos uma parte do líquido de lavagem com teor em etanol é então acrescentada "automaticamente" à fase líquida PL da mistura fermentada a destilar.

O teor em etanol do bloco combustível F2 é ainda reduzido no decorrer da etapa de desumidificação por secagem que provoca uma evaporação sob a forma de gás G da matéria líquida que ele contém, e notadamente do etanol que está então sob a forma de vapores de álcool.

Esse etanol vaporizado pode também ser recuperado, por exemplo, por uma etapa de lavagem dos gases G, por exemplo, por meio de água.

EXEMPLO DE UM BALANÇO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E DE COPRODUÇÃO DE ENERGIA, DE ACORDO COM A INVENÇÃO.

Será apresentado a seguir, a título não limitativo, um exemplo do balanço de produção de bioetanol e de coprodução de energia(s) obtida(s) após um teste piloto.

A matéria-prima vegetal considerada é o trigo que contém por hipótese 12,8% em peso de água e 87,2% em peso de matéria seca, dentre a qual 59% em peso da MPV é o amido.

Com esse trigo, para serem obtidos 100 litros, seja um hectolitro,

de bioetanol, é preciso 272,9 kg de trigo, que contém 34,9 kg de água, 161,0 kg de amido e 77,0 kg de outras matérias secas.

Após sacarificação/liquefação, fermentação e destilação, são obtidos 100 litros de bioetanol e 92,0 kg de matérias secas.

- 5 A partir dos 92,0 kg de matérias secas, após separação das fases sólida e líquida, dispõe-se de 60,37 kg de matéria como combustível a queimar em uma caldeira, e a fase líquida é destilada e se dispõe de 31,63 kg de matéria para a metanização para a produção de gás metano, podendo também ser utilizado em uma caldeira.

- 10 E2) para os 60,37 kg de fase sólida separada ou "torta": "Poder calorífico inferior" (PCI) para 50% de matéria seca da torta: 2,150 kcal/kg

Energia recuperada:

$120,74 \text{ kg} \times 2,150 \text{ kcal/kg} : 1000 = 259,59 \text{ calorias}$

$259,59 \text{ calorias} \times 1,163 = 301,90 \text{ kWh}$

- 15 $301,90 \text{ kWh} \times 3,6 = 1,086,84 \text{ MJ}$

E1) Para os 31,63 kg de matéria orgânica e minerais solubilizados na vinhaça leve:

Hipótese: Demanda Química em Oxigênio (O₂) utilizável = 92 g/l de vinhaça.

- 20 Quantidade de mosto fermentado a 12,54% em volume:

100 litros: $12,54 \times 100 = 797,48$ litros, serão considerados 797,50 litros.

Considerando-se uma reciclagem da vinhaça de 12,8%:

- 25 $797,50 \text{ litros} - (797,5 \text{ litros} \times 12,8 : 100) = 695,42 \text{ litros}$, serão considerados 695,50 litros.

Produção de álcool (bioetanol) com 92,5% em volume necessário para produzir 100 litros de álcool puro:

100 litros: $92,5 \times 100 = 108,1$ litros, serão considerados 108 litros.

- 30 Quantidade de vinhaça leve produzida para 100 litros de álcool puro.

$695,5 \text{ litros} - 108 \text{ litros} = 587,50 \text{ litros}$ de vinhaça leve para 100

litros de álcool puro.

Energia recuperada com o metano para 100 litros de álcool puro:

$$92 \text{ g/l} \times 587,5 \text{ litros} : 1.000 = 54,05 \text{ kg.}$$

$$54,05 \text{ kg} \times 0,446 \times 6.450 \text{ kcal/kg} = 155,486 \text{ kcal}$$

5 (na qual 0,446 é o coeficiente de rendimento da metanização)

$$155,486 \text{ kcal} : 1.000 \times 1,163 = 180,83 \text{ kWh}$$

$$180,83 \text{ kWh} \times 3,6 = 651 \text{ MJ}$$

Energia total E1 + E2:

$$301,90 \text{ kWh} + 180,83 \text{ kWh} = 482,73 \text{ kWh}$$

10 Necessidades em energia para a produção de 100 litros de álcool puro:

Energia elétrica: 25 kWh

Energia térmica: 166,32 kWh

Considerando-se o rendimento da caldeira a vapor de 92%:

15
$$482,73 \text{ kWh} \times 92 : 100 = 444,11 \text{ kWh}$$

Considerando-se que uma turbina à contrapressão tem um rendimento de 83%, seja 20% em energia elétrica e 63% em energia térmica:

A capacidade da turbina deverá ser de:

$$166,32 \text{ kWh} \times 63 : 100 = 264 \text{ kWh}$$

20 A produção de energia elétrica da turbina é de: $264 \text{ kWh} \times 20 : 100 = 52,80 \text{ kWh}$

Sólido disponível de energia elétrica comercializada:

$$52,80 \text{ kWh} - 25 \text{ kWh} = 27,80 \text{ kWh}$$

Energia ainda disponível:

25
$$444,11 \text{ kWh} - 264 \text{ kWh} = 180,11 \text{ kWh}$$

Considerando-se que uma turbina de condensação contrapressão tem um rendimento de 32% em energia elétrica:

$$180,11 \text{ kWh} \times 32 : 100 = 57,64 \text{ kWh}$$

Energia elétrica total disponível para comercialização:

30
$$27,80 \text{ kWh} + 57,64 \text{ kWh} = 85,44 \text{ kWh}$$
 para 100 litros de álcool puro produzidos.

Observação: o rendimento energético do gás pode ser conside-

ravelmente aumentado com a utilização de uma turbina a gás com ciclos combinados.

A título comparativo:

5 Uma tonelada de cana-de-açúcar permite a produção de 90 litros de álcool puro.

Uma tonelada de cana-de-açúcar permite produzir um excedente de energia elétrica comercializável de 75 kWh por tonelada de cana (fonte Celso Procknor, edição Magazine STAB/Brasil janeiro de 2007).

10 Excedente de energia elétrica comercializável para 100 litros de álcool puro:

$$75 \text{ kWh} : 90 \text{ litros} \times 100 \text{ litros} = 83,33 \text{ kWh}$$

Em conclusão, a presente invenção permite produzir com a biomassa das plantas amiláceas tanta energia quanto aquela fornecida pelo bagaço do que com a cana-de-açúcar.

15 Balanço energético para 1 tonelada de cereais no caso do teste piloto:

1 tonelada de cereais permite produzir 400 litros de álcool puro.

Cultura dos cereais: -1.367 MJ

Estocagem dos cereais: -150 MJ

20 Produção de álcool: -2.500 MJ

Produção de biogás: -450 MJ

Energia etanol: +8.480 MJ

Energia do "cake": +4.348 MJ

Energia metanização: +2.604 MJ

25 Ganho de energia: +10.965 MJ

Relação de energia produzida/energia utilizada:

$$15.432 \text{ MJ} : 4.467 \text{ MJ} = 3,45$$

Balanço energético para 1 tonelada de cereais no caso de produção de DDGS:

30 Cultura cereais: -1.367 MJ

Estocagem dos cereais: -150 MJ

Produção de álcool: -2.500 MJ

Secagem DDGS:	-2.400 MJ
Energia etanol:	+8.480 MJ
DDGS:	+5.096 MJ
Ganho de energia:	+2.063 MJ

5

Relação energia produzida/energia utilizada:

$$8.480 \text{ MJ} : 6.417 \text{ MJ} = 1.32$$

Em conclusão, o ganho de energia obtido pelo processo de produção de bioetanol e de coprodução de energia, de acordo com a invenção, está em contradição com os críticos feitas sobre o álcool obtido à base de cereais por certos autores da técnica anterior. A energia produzida é nitidamente superior à energia utilizada, enquanto que ela é considerada nula por esses mesmos autores.

10

Balanço das águas

Água de resfriamento:

15

Hipótese: torre de refrigeração de água

Necessidades em água para 100 litros de álcool para produtos:

0,8 m³

Perdas: 6%, seja 0,048 m³, serão considerados 0,05 m³/hl

Água fresca para o processo de fabricação: 0,4-0,5 m³/hl

20

Água das caldeiras, considerando-se a recuperação dos condensados e um aquecimento fazendo-se por trocador térmico: 0,05 m³/hl

Necessidade total de água: 0,5 - 0,6 m³/hl álcool puro produto.

Essa quantidade de água pode ser reduzida a aproximadamente 0,15 m³/hl com um tratamento dos efluentes líquidos provenientes da metanização.

25

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de produção de bioetanol e de coprodução de energia, a partir de uma matéria-prima vegetal (MPV) amilácea, caracterizado pelo fato de que compreende pelo menos as seguintes etapas sucessivas,
5 consistindo em:

- A)-B) se obter, a partir do total da matéria-prima vegetal (MPV), uma mistura fermentada (MF);

- (C1) separar, por filtração e prensagem, a fase líquida (PL) e a fase sólida (PS) da mistura fermentada (MF), de modo que a proporção em
10 peso de matéria seca da referida fase sólida (PS) seja de 40% a 45 %;

- D) destilar pelo menos em parte, a referida fase líquida (PL) da mistura fermentada (MF), para se obterem o etanol e a vinhaça leve (VL);

- E1) utilizando toda a referida vinhaça leve (VL), produzir gás metano (F1), constituindo um primeiro combustível para a coprodução de
15 energia;

e em que, previamente à referida chapa (C1) de separação, o processo compreende:

uma etapa durante a qual o pH da mistura fermentada (MF) é aumentado para que se atinja um valor entre 5,5 e 6,5; e

20 uma etapa em que adiciona-se, à referida mistura fermentada (MF), um adjuvante de filtração (ADJ).

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a referida etapa de separação C1) é realizada por meio de um filtro-prensa.

25 3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que, previamente à referida etapa C1) de separação, o processo compreende uma etapa no decorrer da qual a temperatura da mistura fermentada (MF) é levada a uma temperatura (T) de separação, compreendida entre 55°C e 65°C.

30 4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, o pH da mistura fermentada (MF) é aumentado pela adição de, pelo menos, um composto alcalino (CAL).

5. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que compreende uma subetapa (C2) de lavagem da referida fase sólida (PS) separada da referida mistura fermentada (MF).

6. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo
5 fato de que compreende uma subetapa (C2) de lavagem da referida fase sólida (PS) separada da referida mistura fermentada (MF), sendo que a referida etapa (C2) de lavagem da fase sólida separada (PS) da mistura fermentada (MF) é realizada por injeção de água de lavagem no filtro-prensa, de tal
10 maneira que pelo menos uma parte do líquido de lavagem (LL) com teor em etanol é acrescentada automaticamente à fase líquida (PL) da mistura fermentada a destilar.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que compreende uma etapa E2) de produção de pelo menos um segundo combustível que consiste em desumidificar a
15 referida fase sólida (PS) da mistura fermentada (MF) para produzir um bloco (F2) de material, cuja proporção em peso de matéria seca é superior a 50%, e pelo fato de o referido bloco (F2) estar apto a ser queimado, na totalidade ou em parte, em uma caldeira (CH), e/ou pelo fato de o referido bloco (F2) estar apto a ser utilizado, na totalidade ou em parte, para a produção de um
20 produto (DDG) utilizado notadamente para a alimentação animal.

8. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a referida fase sólida (PS) da mistura fermentada (MF) é desumidificada por secagem (H), e pelo fato de os gases (G) emitidos, quando da secagem serem tratados para extrair, na totalidade ou em parte, o etanol
25 que os referidos gases contêm notadamente por lavagem dos gases com água.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o referido metano (F1), na totalidade ou em parte, e o referido segundo combustível (F2), na totalidade ou em parte, são queimados em
30 uma mesma caldeira.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que a referida mistura fermentada (MF) é ob-

tida pelas etapas sucessivas que consistem em:

- A) preparar uma pasta que compreende a matéria-prima vegetal (MPV) apta a ser fermentada;

- B) provocar a fermentação da referida pasta, visando obter

5 uma mistura fermentada (MF).

