



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

(21) BR 102021005636-3 A2



(22) Data do Depósito: 24/03/2021

(43) Data da Publicação Nacional: 27/09/2022

(54) **Título:** ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO E APLICADO À PÉLETES

(51) **Int. Cl.:** C10L 5/44; C10L 5/14; C10L 5/36.

(52) **CPC:** C10L 5/44; C10L 5/143; C10L 5/361.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO; BIOFLEX AGROINDUSTRIAL S. A..

(72) **Inventor(es):** RONALDO DA SILVA VIANA,; BRUNO RAFAEL DE ALMEIDA MOREIRA; VICTOR HUGO CRUZ; JULIO CEZAR ARAUJO DO ESPIRITO SANTO.

(57) **Resumo:** ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO E APLICADO À PÉLETES. O presente pedido de patente de invenção refere-se a um aditivo de biomassa residual proveniente da destilação de bioetanol celulósico para péletes. A integridade estrutural de pélete é indispensável à segurança e eficiência de manuseio, transporte, armazenamento e processamento em unidades bioenergéticas. A proposta desse pedido de patente de invenção é o desenvolvimento de lignina, biomassa residual de destilação de etanol celulósico (E2G), em material de suporte. À produção, em escala-piloto, compactaram-se blends de bagaço de cana e aditivo, em máquina automática de matriz plana, a 200 MPa e 125 °C. À avaliação técnica de qualidade, consideraram-se: diâmetro, comprimento, densidade aparente, durabilidade e finos, e resistência à abrasão; poder calorífico superior e densidade energética; e teores de água, C, H, O, N e S. O aditivo possibilitou aos péletes, expressivos valores de C, H, durabilidade e densidade energética: 53,50 %; 7,80 %; 99,55 % e 31,20 MJ kg⁻¹, respectivamente. Houve, portanto, melhorias significativas em propriedades energéticas moleculares, estabilidade físico-mecânica e poder combustível. Os produtos híbridos seriam atrativos a aplicações residenciais, comerciais e industriais, como: aquecedores elétricos, fornalhas, gaseificadores e caldeiras. Complementarmente, mitigariam fatalidades por exposição ocupacional de trabalhadores à (...).



ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO E APLICADO À PÉLETES

[001] O presente pedido de patente de invenção refere-se a um aditivo de biomassa residual proveniente da destilação de bioetanol celulósico para a aplicação em péletes. A proposta desse pedido de patente de invenção é o desenvolvimento de lignina, biomassa residual de destilação de etanol celulósico (E2G), em material de suporte.

CAMPO DE APLICAÇÃO

[002] O presente pedido de patente de invenção demonstra a inovação no campo técnico relacionado à combustíveis de biomassa e da produção bioenergética.

ESTADO DA TÉCNICA

[003] A integridade estrutural de um pélete é indispensável à segurança e eficiência de manuseio, transporte, armazenamento e processamento em unidades bioenergéticas. O desenvolvimento de lignina, biomassa residual proveniente do processo de destilação de etanol celulósico (E2G), em material de suporte seria, portanto, é a proposta desse pedido de patente de invenção.

[004] A patente US2019233752 (A1), intitulada “Sistema e processo para produção de pelotas de biomassa”, refere-se a um sistema para a produção de péletes de biomassa, caracterizado pelo fato de que compreende um moinho de panela para triturar um material de biomassa, um meio de tratamento no qual o material de biomassa triturado é tratado com um reagente de oxidação e uma prensa de péletes para prensar péletes do material de biomassa tratado. A invenção refere-se ainda a um processo associado. A intenção é iniciar durante a produção de pelotas reações de oxidação que podem resultar na autoignição das pelotas em pilhas de pelotas.

[005] A patente SE1950001 (A1), intitulada “Produção integrada de péletes ou briquetes de biomassa e biogás”, descreve um processo integrado para a produção de biogás e biomassa densa em energia, cujo processo compreende as etapas de (a) fornecer uma matéria-prima, (b) tratamento de vapor, (c) separação, (d) lavagem, (e) opcionalmente compressão, (f) digestão anaeróbica para produzir biogás, (g) secagem e (h) densificação para produzir biomassa densa em energia.

[006] A patente CN109207226 (A), intitulada “Método de preparação para combustível de pélete de biomassa ecologicamente correto”, refere-se especificamente a um

método de preparação para um combustível de pélete de biomassa ecologicamente correto, pertencente ao campo técnico de combustíveis de biomassa. O método de preparação compreende as seguintes etapas: preparação das matérias-primas; seccionando; moldagem; mistura; desidratação; secagem; prensagem; e granulação. De acordo com a invenção, resíduos de pomar e resíduos de jardins de chá são usados como as matérias-primas, de modo que as matérias-primas de péletes de biomassa estão amplamente disponíveis e a reciclagem dos resíduos é realizada; uma vez que as matérias-primas são matérias orgânicas, um produto da combustão após a combustão do combustível do péletes de biomassa é amigo do ambiente; álcool dodecílico é adicionado e, uma vez que o álcool dodecílico tem desempenho de aceleração de chama, a combustão dos péletes de biomassa é mais completa e o valor calorífico e a eficiência de combustão dos péletes de biomassa são melhorados; um solvente orgânico é adicionado, e o solvente orgânico permite que a adesão entre as matérias-primas seja melhor, melhora a taxa de moldagem dos grânulos de biomassa e evita os fenômenos de soltura, quebra e derramamento; e um dessulfurizador é adicionado, e o dessulfurizador permite que o sulfeto nos produtos de combustão dos grânulos de biomassa sejam removidos e evita que o sulfeto seja emitido para o ar, o que é favorável para a proteção ambiental.

[007] A Patente EP3476921 (A1), intitulada “MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE PÉLETES USANDO BIOMASSA”, refere-se a um método de fabricação de péletes de biomassa. O método inclui pulverizar e cortar resíduos compostos de matéria orgânica em partículas de resíduos menores, secar as partículas de resíduos, revestir principalmente as partículas de resíduos secas com óleo residual, adicionar serragem, carvão e catalisador de carvão às partículas de resíduos revestidas com óleo para produzir um primário mistura, adicionando resíduos alimentares do tipo lama e excrementos à mistura primária para produzir uma mistura secundária, revestindo a superfície da mistura secundária com uma composição de revestimento incluindo emulsão de asfalto, pó de carvão e argila vermelha para produzir uma matéria-prima de extrusão, extrudando o extrusão da matéria-prima através de uma matriz de extrusão e corte do extrudado resultante em um intervalo predeterminado para produzir pelotas.

Os péletes produzidos através do método possuem boa inflamabilidade e propriedade exotérmica.

[008] Com relação aos problemas técnicos, pode-se destacar que plantas de peletização adicionam materiais amiláceos, sacarinos e, ou, oleaginosos à matéria-prima. Farelo de cereais e sumos são eficientes adesivos orgânicos, porém, competem com indústrias de alimentos e medicamentos. Desenvolvimento e implementação de alternativas seriam, portanto, perspicazes. A lignina, biomassa residual de destilação de bioetanol celulósico, é versátil à retroalimentação de processos. Todavia, é, absolutamente, heterogênea, higroscópica e, insatisfatoriamente, energética, características que dificultam manejo e comercialização. Introduzi-la ao desenvolvimento de péletes oportunizaria, diametralmente: (1) diversificação de opções de aglutinantes; (2) independência de mercado de matérias-primas madeiras, que, futuramente, serão incapazes de atender demandas, devido ao progressivo consumo de péletes em países do Hemisfério Norte; e (3) otimização de fabricação de bioetanol de segunda-geração, extremamente, cuja competitiva depende de conversão de resíduos em biocombustíveis e, ou, químicos finos.

[009] A novidade tecnológica do presente pedido de patente de invenção está no fato de que há o desenvolvimento de péletes de qualidade superior sem, sequer, adotar aglutinantes convencionais e rotas termoquímicas e, ou, mecânicas complexas ao pré-processamento. Como desvantagem, pode-se citar a necessidade de otimização de teores de cinzas e de enxofre (S).

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[010] O presente pedido de patente de invenção propõe um aditivo de biomassa residual proveniente da destilação de bioetanol celulósico para a aplicação em péletes. Os produtos híbridos seriam atrativos a aplicações residenciais, comerciais e industriais, como: aquecedores elétricos, fornalhas, gaseificadores e caldeiras. Complementarmente, mitigariam fatalidades por exposição ocupacional de trabalhadores à atmosfera tóxica por degaseificação e autocombustão de lotes, em ambientes de transporte e armazenamento, como contêineres transatlânticos e silos sazonais, e garantiriam conforto ao mercado consumidor.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO E DAS FIGURAS

[011] O bagaço de cana se originou de processo de produção de etanol de primeira geração. A lignina foi disponibilizada pela unidade de produção de etanol celulósico, da GranBio, localizada no Estado de Alagoas. Estocaram-se os materiais, em recipientes herméticos, em laboratório, à temperatura e umidade relativa de ar de 25 ± 5 °C e 60 ± 5 %, respectivamente, previamente, à caracterização e peletização. A Figura 1 mostra a recepção e condicionamento de bagaço de cana e lignina para peletização. A Figura 2 mostra o conjunto de peletização: silo alimentador, peletizadora e peneira vibratória com sistema de arrefecimento por ventilação. A Figura 3 mostra o lote de péletes de bagaço de cana com adição de lignina.

[012] Ao ensaio de viabilidade técnica de adição de lignina ao bagaço de cana, para produção de péletes híbridos de qualidade superior, proporcionaram-se os materiais a 1:3, 1:1, 3:1 g g⁻¹, dez réplicas por teste.

[013] Com relação à etapa de peletização, inicialmente, condicionaram-se os ingredientes por secagem a 65 °C, moagem e peneiramento em malha de 0,25–0,45 mm, para adequação de teor de umidade e granulometria. Produziram-se péletes, em máquina automática de matriz plana, à pressão e temperatura de 200 MPa e 125 °C, respectivamente. Arrefeceram-se e estocaram-se os produtos, em recipientes de polietileno, em laboratório, para avaliação técnica de qualidade.

[014] No tocante à caracterização, primeiramente, determinou-se densidade aparente, submergindo-se amostra de 0.05 kg em 0.25 L de água, em tubo de ensaio de 1 L (Figura 4). À caracterização físicoquímica, procederam-se as análises, imediata, estrutural e elementar, em triplicata, para quantificação de teores de água, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas; (hemi)celulose e lignina; C, H, O, N e S; respectivamente, e calorimetria, para registro de poder calorífico superior.

[015] Com relação ao experimento, foi realizado um ensaio de viabilidade técnica com 10 réplicas por testes, seguido de uma peletização dos materiais obtidos.

[016] Com relação às análises de qualidade do material obtido, foram realizados os seguintes testes:

[017] Análise Físicomecânica: foram mensurados o comprimento (*L*) e o diâmetro (*Ø*) por paquímetro digital e realizados os ensaios de durabilidade e resistência à abrasão

(Figura 5). No ensaio de durabilidade, simularam-se múltiplas quedas de amostra de 0,1 kg, de tampo de mesa, à altura de 1,85 m, sobre piso de concreto, peneirando-a, em malha de 0,25 mm, e, finalmente, pesando-a; calculou-se, então, δ , pela razão de massa final (M_F) e inicial (M_I): $100 \times (M_F/M_I)$. No ensaio de resistência à abrasão, rotacionou-se amostra de 0,1 kg, em câmara, a 50 rpm, por 10 minutos, peneirando-a, em malha de 0,85 mm, e, posteriormente, pesando-a; calculou-se, então, η , pela razão de massa final e inicial, conforme descrito, previamente (Figura 6).

[018] Análise Físicotérmica: foram realizadas as análises de densidade aparente, poder calorífico superior e densidade energética. Na análise de densidade aparente, calculou-se ρ pela razão de massa e volume de amostra de 0,1 kg em 0,5 L de água, em tubo de ensaio, à temperatura ambiente. Na análise do poder calorífico superior determinou-se PCS, queimando-se amostra de 0,1 kg, em calorímetro isotérmico. Para a análise de densidade energética, calculou-se ϵ , multiplicando-se PCS por ρ .

[019] Análise Físicoquímica: Processaram-se amostras de 0,5 kg, em triplicata, para determinação de teores de C, H, O, N e S, e relações atômicas.

[020] Análise de dados: À modelagem de efeito de adição e interrelações de variáveis de desempenho técnico de péletes, aplicaram-se análise de regressão e teste de correlação de Pearson, respectivamente, em R-project, linguagem de programação de código aberto, multi-paradigma, útil à computação estatística e gráficos.

[021] Com relação aos resultados apresentados, no que tange às características dos ingredientes, pode-se concluir que os materiais, bagaço de cana e biomassa residual, equivaleram-se em teores de água, (hemi)celulose, lignina e extrativos, diferenciando-se, todavia, em relação a materiais voláteis, carbono fixo e cinzas (Tabela 1). O potencial aditivo rendeu mais carbono fixo, C e H, comparado ao bagaço, cujas relações atômicas de C: O e H: O eram inferiores, devido ao desproporcional conteúdo de oxigênio.

[022] À manufatura sustentável de péletes, recomendam-se teores de água de 10–15 %; valores inferiores dificultam densificação, devido à insuficiência de forças de ligação, enquanto, superiores, intensificam consumo energético, limitam poder combustíveis, desgastem equipamentos de conversão e tornam o produto susceptível à oxidação

química, decomposição microbiana, degaseificação e autocombustão, em transporte e armazenamento. Matérias-primas voláteis entram em ignição e combustão, rapidamente, devido à reatividade, enquanto aquelas ricas em carbono fixo queimam, lentamente, e, portanto, prologam combustão. À peletização, recomendam-se teores de cinzas inferiores a 3 %, para prevenir evitar corrosão de equipamentos e dispositivos por silicatos e óxidos, inertes à combustão. O bagaço de cana seria, portanto, inviável à produção de péletes, a menos que o suporte lignocelulósico o equilibrasse em cinzas, tornando-o, assim, viável. Impurezas minerais por transporte de solo, do campo à indústria, e tratamento de caldo explicariam o expressivo teor de cinzas em bagaço. A riqueza de C e H, em biomassa residual, otimizaria propriedades combustíveis e estabilidade mecânica de péletes. Carbono e hidrogênio determinam, positivamente, compressibilidade e hidrofobicidade de material.

Tabela 1. Características de ingredientes de peletização

Propriedade	Ingrediente	
	Bagaço de cana	Biomassa residual
	Imediata	
Água, %	13,80	13,20
Materiais voláteis, %	76,35	70,85
Carbono fixo, %	15,40	25,30
Cinzas, %	8,25	2,85
	Estrutural	
Celulose, %	43,80	41,30
Hemicelulose, %	27,70	28,70
Lignina, %	20,95	22,70
Extrativos, %	7,55	7,30
	Elementar	
C, %	44,95	53,05
H, %	5,95	6,05
O, %	47,85	39,75
N, %	-	-
S, %	1,20	1,30
C: O	0,90	1,30
H: O	0,10	0,15
C: H	7,55	8,75
	Físicotérmica	
Densidade aparente, kg m ⁻³	560,05	590,15
Poder calorífico superior, MJ kg ⁻¹	17,65	21,85
Densidade energética, GJ m ⁻³	9,90	12,90

[023] No que tange à análise de qualidade de péletes, houve estimativas positivas ao efeito de reforço em diâmetro, durabilidade, resistência à abrasão, PCS, densidade energética; teores de água, carbono fixo, cinzas, C e H; e relações atômicas de C: O, H: O e C: H (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros de modelos lineares de efeito de adição de biomassa residual em qualidade de péletes

Propriedade	Parâmetro		R ²
	β_0	β_X	
	Físicomecânica		
Diâmetro, mm	31,330 *	0,080 *	0,955
Comprimento, mm	6,175 *	-0,010 *	0,915
Resistência à abrasão, %	96,390 *	0,045 *	0,950
Durabilidade, %	90,095 *	0,075 *	0,930
Físicotérmica			
Densidade aparente, kg m ⁻³	1361,100 **	1,510 **	0,970
Poder calorífico superior, MJ kg ⁻¹	20,280 *	0,015 *	0,940
Densidade energética, GJ m ⁻³	27,570 **	0,055 **	0,980
Físicoquímica			
Água, %	6,425 **	0,030 **	0,975
Materiais voláteis, %	79,560 **	-0,130 **	0,990
Carbono fixo, %	19,400 **	0,070 **	0,985
Cinzas, %	1,010 **	0,060 **	0,995
C, %	50,920 *	0,035 *	0,945
H, %	5,695 *	0,210 *	0,875
O, %	41,330 *	-0,035 *	0,945
S, %	2,060 *	-0,020 *	0,645
C: O	1,230 *	0,005 *	0,925
H: O	0,135 *	0,0005 *	0,910
C: H	8,915 *	0,0215 *	0,805

[024] Blends de 3: 1 g g⁻¹ eram os mais densos, duráveis e resistentes a forças abrasivas, e concentraram mais C e H (Figuras 1–4). O reforço otimizou o comportamento de partículas, durante o processo de compactação, possibilitando-lhes capacidade de adesão e preenchimento de poros, e estruturação.

[025] De modo a facilitar a interpretação da presente descrição da invenção, o presente pedido de patente de invenção traz mais figuras descritas em sequência:

A Figura 7 ilustra os resultados obtidos da qualidade físicomecânica de péletes com adição de lignina, biomassa residual de destilação de bioetanol celulósico.

A Figura 8 ilustra os resultados obtidos da qualidade físicotérmica de péletes com adição de lignina, biomassa residual de destilação de bioetanol celulósico.

As Figuras 9, 10A e 10B ilustram os resultados obtidos da qualidade físicoquímica de péletes com adição de lignina, biomassa residual de destilação de bioetanol celulósico.

[026] Os péletes homogêneos e compactos facilitam e economizam custos de logística de transporte e armazenamento, e alimentam equipamentos de conversão térmica sem, sequer, obstruir sistemas de transporte pneumáticos. Biocombustíveis densos e

duráveis são, normalmente, energéticos e resistentes a deformações por forças abrasivas em ambientes hostis. Complementarmente, são indiferentes à perda de material e liberação e finos, potenciais causadores de patologias e perigosíssimos à degaseificação e autocombustão. Globalmente, péletes com 75% de biomassa residual seriam, seguramente, viáveis a aplicações bioenergéticas industriais (Tabela 3). Utilizá-los, residencial e comercialmente, em estabelecimentos alimentícios, como padarias, pizzarias e restaurantes, representaria riscos à saúde de consumidor, devido aos inaceitáveis teores de cinzas e S. Haveria, portanto, necessidade de otimizá-los.

Tabela 3. Potenciais aplicações de péletes de bagaço de cana e biomassa residual de destilação de bioetanol celulósico

Propriedade	Pélete		Norma			
	Híbrido	Puro	ISO 17225-2	ISO 17225-6	EN 1461-1	USA PFI
Potencial aplicação	Industrial	Industrial	Residencial		Industrial	
Densidade, kg m ⁻³	1405,25–1485,10	1375,15	≥ 600	≥ 600	≥ 600	608,7–746,9
Poder calorífico, MJ kg ⁻¹	20,70–21,45	20,50	≥ 16,5	≥ 14,5	≥ 16,5	-
Comprimento, mm	25,70–30,10	31,90	3,15–40	3,15–40	3,15–40	≤ 42
Diâmetro, mm	6,50–6,85	6,05	6, 8, 12 ± 1	6–10	6, 8, 10 ± 1	5,84–7,25
Durabilidade, %	97,10–99,95	95,90	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5	≥ 95
Água, %	7,05–8,75	6,70	≤ 10	≤ 12	≤ 10	≤ 10
Cinzas, %	2,65–5,45	0,90	≤ 0,7	≤ 6	≤ 1	≤ 2
N, %	0,00	0,00	≤ 0,3	≤ 1,5	≤ 0,5	-
S, %	0,90–1,05	2,45	≤ 0,04	≤ 0,2	≤ 0,05	-

[027] No tocante ao impacto social, a presente tecnologia visa à geração de empregos e melhoria de qualidade de vida de residentes de comunidades rurais, onde o acesso a bens e serviços é limitado.

REIVINDICAÇÕES

1. **“ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO”**, **caracterizado pelo** aditivo de biomassa ser residual e ser proveniente da destilação de bioetanol celulósico, utilizando como ingredientes, o bagaço da cana-de-açúcar e a lignina.
2. **“ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO”**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pela** adição de lignina ao bagaço de cana, para produção de péletes híbridos de qualidade superior, proporcionaram-se os materiais a 1:3, 1:1, 3:1 g g⁻¹, dez réplicas por teste.
3. **“PÉLETES FORMADOS PELO ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO”**, **caracterizado por** compreender as seguintes etapas:
 - inicialmente, condicionaram-se os ingredientes por secagem a 65 °C, moagem e peneiramento em malha de 0,25–0,45 mm, para adequação de teor de umidade e granulometria;
 - produziram-se péletes, em máquina automática de matriz plana, à pressão e temperatura de 200 MPa e 125 °C, respectivamente;
 - arrefeceram-se e estocaram-se os produtos, em recipientes de polietileno, em laboratório, para avaliação técnica de qualidade.
4. **“PÉLETES FORMADOS PELO ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO”**, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** por ser aplicado à combustíveis de biomassa e da produção bioenergética.
5. **“PÉLETES FORMADOS PELO ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO”**, de acordo com quaisquer uma das reivindicações 3 e 4, **caracterizado** por ter aplicações residenciais, comerciais e industriais, como em aquecedores elétricos, fornalhas, gaseificadores e caldeiras, em autocombustão de lotes, em ambientes de transporte e armazenamento, como contêineres transatlânticos e silos sazonais.



FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 3



FIGURA 4



FIGURA 5

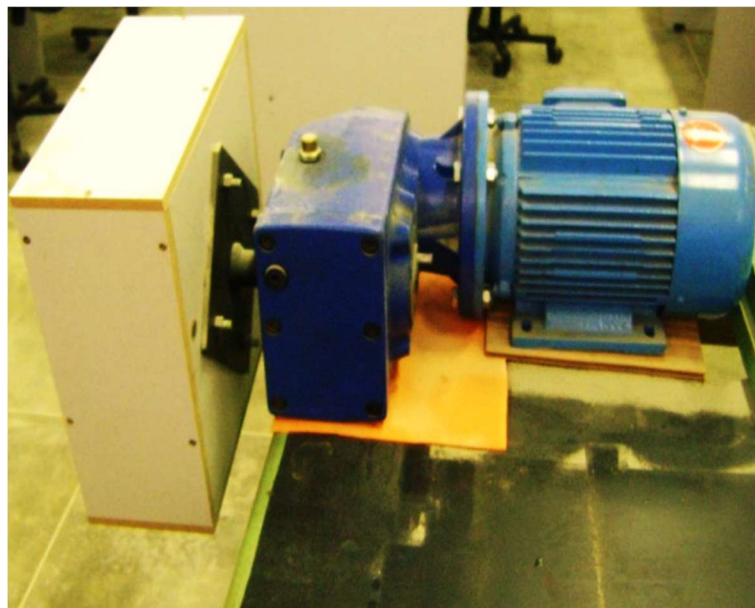
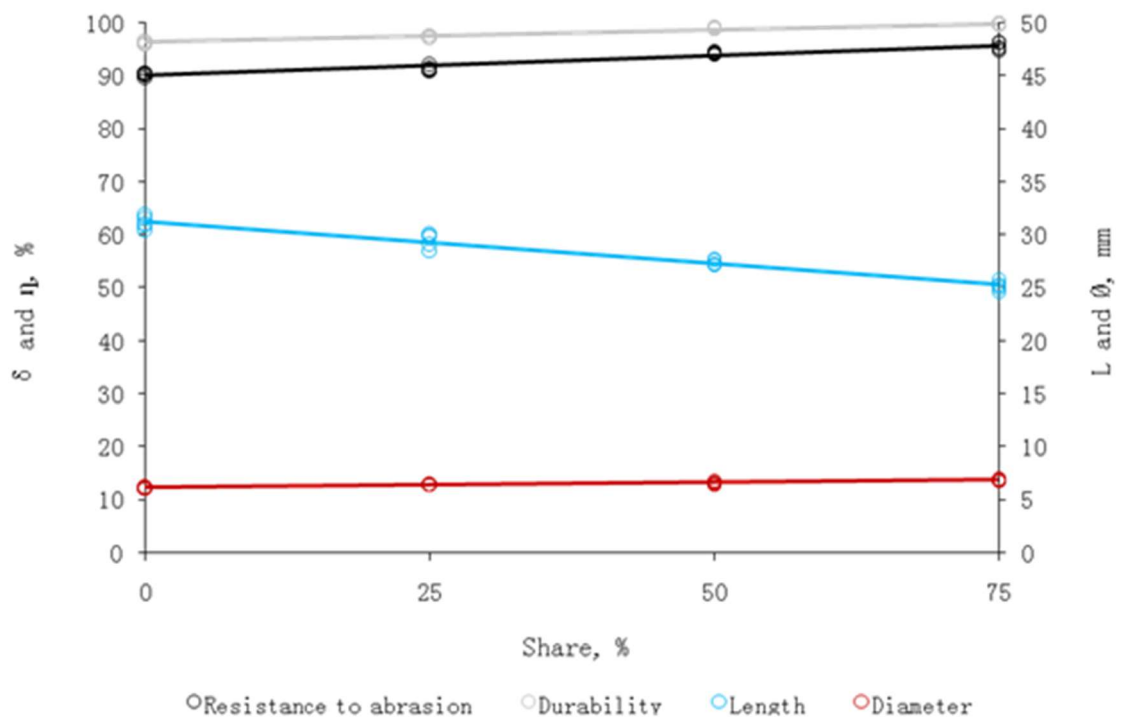


FIGURA 6

**FIGURA 7**

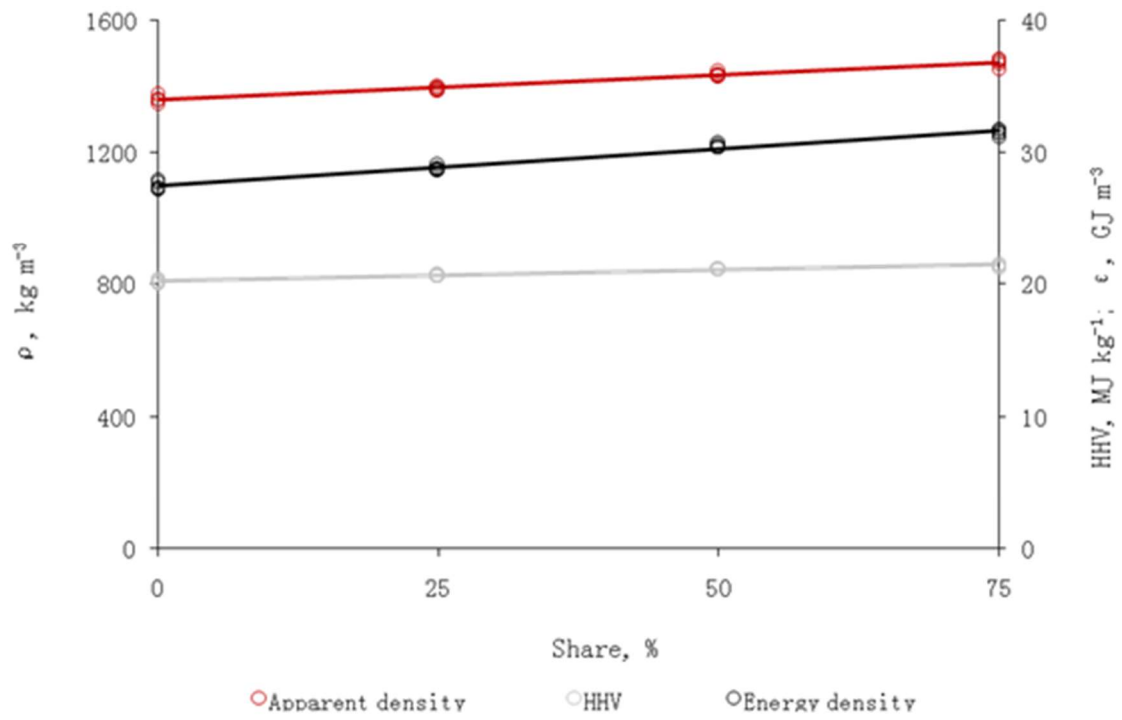


FIGURA 8

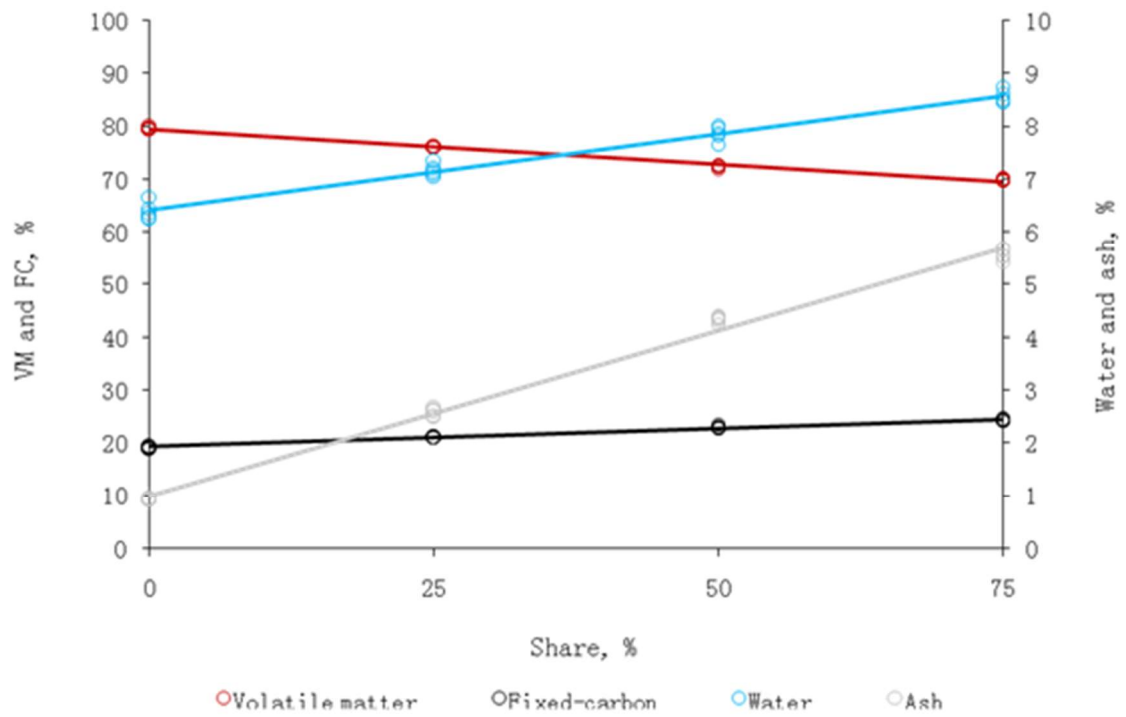


FIGURA 9

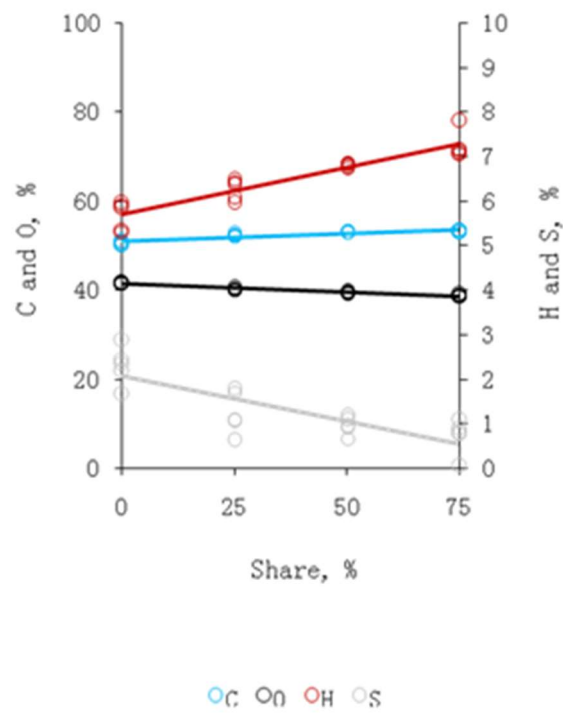
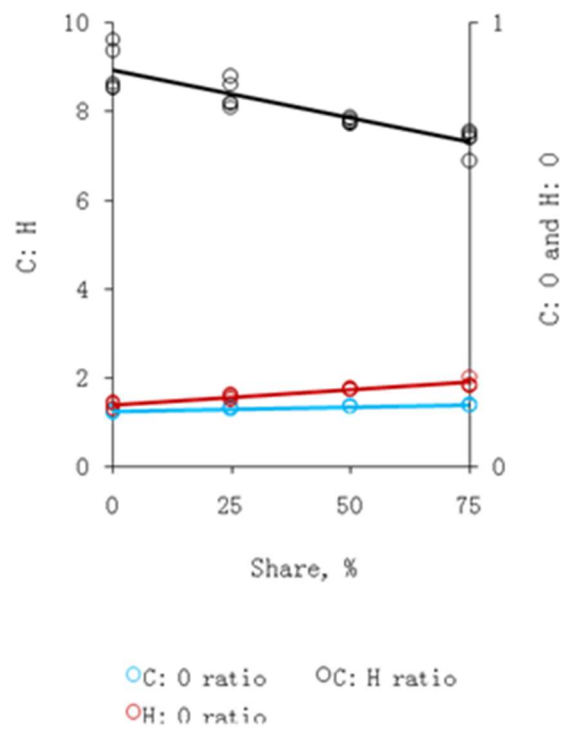


FIGURA 10A

**FIGURA 10B**

RESUMO

ADITIVO DE BIOMASSA RESIDUAL PROVENIENTE DA DESTILAÇÃO DE BIOETANOL CELULÓSICO E APLICADO À PÉLETES.

O presente pedido de patente de invenção refere-se a um aditivo de biomassa residual proveniente da destilação de bioetanol celulósico para péletes. A integridade estrutural de pélete é indispensável à segurança e eficiência de manuseio, transporte, armazenamento e processamento em unidades bioenergéticas. A proposta desse pedido de patente de invenção é o desenvolvimento de lignina, biomassa residual de destilação de etanol celulósico (E2G), em material de suporte. À produção, em escala-piloto, compactaram-se *blends* de bagaço de cana e aditivo, em máquina automática de matriz plana, a 200 MPa e 125 °C. À avaliação técnica de qualidade, consideraram-se: diâmetro, comprimento, densidade aparente, durabilidade e finos, e resistência à abrasão; poder calorífico superior e densidade energética; e teores de água, C, H, O, N e S. O aditivo possibilitou aos péletes, expressivos valores de C, H, durabilidade e densidade energética: 53,50 %; 7,80 %; 99,55 % e 31,20 MJ kg⁻¹, respectivamente. Houve, portanto, melhorias significativas em propriedades energéticas moleculares, estabilidade físico-mecânica e poder combustível. Os produtos híbridos seriam atrativos a aplicações residenciais, comerciais e industriais, como: aquecedores elétricos, fornalhas, gaseificadores e caldeiras. Complementarmente, mitigariam fatalidades por exposição ocupacional de trabalhadores à atmosfera tóxica por degaseificação e autocombustão de lotes, em ambientes de transporte e armazenamento, como contêineres transatlânticos e silos sazonais, e garantiriam conforto ao mercado consumidor.