

Vinhaça de Cana-de-açúcar: Análise do seu Uso como Combustível Alternativo

Sugarcane Vinasse: Evaluation of their Use as an Alternative Fuel

Rafael Pereira,^a Ana Maria Pereira Neto,^a Rodolfo Sbrolini Tiburcio^{a,*} 

^a Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, CEP 09210-580, Santo André-SP, Brasil.

*E-mail: rodolfo.sbrolini@ufabc.edu.br

Recebido: 2 de Abril de 2021

Aceito: 17 de Maio de 2021

Publicado online: 28 de Julho de 2021

An alternative to the energy matrix diversification and leveraging the use of renewable sources is the energy recovery of wastes. In this sense, sugarcane vinasse is a potential by-product of the sugar-energy sector and it is estimated a generation of 10 to 15 liters per liter of ethanol produced. The study developed in this work evaluated the use of vinasse as an alternative fuel, aiming at expanding the sustainability of the ethanol production process. Vinasse *in natura* samples were provided by a facility located in the State of São Paulo for the analyses of total solids (16,887 mg/L) and density (1.009 g/mL). Through literature data, the higher heating value on dry basis and the lower heating value on wet basis were estimated. Using data from the sugarcane harvests from 1987/1988 to 2019/2020, a mathematical model was developed capable of estimating the quantity of vinasse produced for 2019/2020 harvest (287 to 430 thousand cubic meters), being its environmentally adequate destination an important challenge to the sugar-energy sector.

Keywords: Waste; effluent; characterization; bioenergy; sugar-energy sector.

1. Introdução

A diversificação da matriz energética é uma importante estratégia à obtenção de um modelo de desenvolvimento mais sustentável e que seja capaz de otimizar o uso de recursos naturais, em função das crescentes demandas por alimento e energia. Uma alternativa para buscar este objetivo é alavancar o uso de fontes renováveis e o aproveitamento energético de resíduos. Neste sentido, destaca-se a vinhaça de cana-de-açúcar como um potencial subproduto do setor sucroenergético brasileiro, pois se estima uma geração de 10 a 15 litros para cada litro de etanol produzido.^{1,2}

De acordo com a norma ABNT NBR 10004:2004, a vinhaça é considerada um resíduo classe II-A, não perigoso e não inerte, por não possuir tratamento convencional que possibilite o seu lançamento em corpos d'água. E segundo a norma CETESB P 4.231:2015, trata-se de um líquido derivado da destilação do vinho resultante da fermentação do caldo ou mosto.

A elevada produção de vinhaça, a implementação de leis ambientais e a busca pela ampliação da sustentabilidade de processos, estimulam a investigação de alternativas à sua destinação. Dentre os tratamentos utilizados pelo setor sucroenergético, destacam-se a fertirrigação, a digestão anaeróbia (em vias de estudo) e a concentração através de evaporadores de múltiplos estágios.^{3,4}

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de aproveitamento energético da vinhaça de cana-de-açúcar como um tratamento alternativo à sua destinação, possibilitando a redução do teor de matéria orgânica e do volume acumulado em lagoas, com concomitantes melhorias na sustentabilidade do processo de produção de etanol.

2. Material e Métodos

2.1. Coleta e armazenamento de amostras

Amostras de vinhaça *in natura*, isto é, sem tratamento prévio e recém-obtida, seja da torre de destilação ou das lagoas de armazenamento, foram cedidas por uma usina do Estado de São Paulo, acondicionadas em frascos de polietileno de alta densidade de 1 L com tampa rosca e mantidas à temperatura de -20 °C para preservação de suas propriedades.

2.2. Análises de sólidos totais e de densidade em amostras de vinhaça *in natura*

A análise de sólidos totais foi realizada em estufa com circulação de ar forçada (*Lucadema 82/630*), empregando-se análise gravimétrica até massa constante e de acordo com a norma

APHA 2540 B:2017. O procedimento inicial foi a etapa de homogeneização da amostra previamente descongelada (400 mL), utilizando-se agitador magnético (*Novatecnica NT 100*) e béquer, sob a ação de 1700 rpm (~75% de agitação).

Com o auxílio de pipeta automática (*Eppendorf Multipette® E3/E3x*), um volume de 10 mL de vinhaça *in natura* foi acondicionado em cadinhos de porcelana de 100 mL. Após a pipetagem, realizou-se outra pesagem, a fim de calcular a densidade (D) de acordo com a Equação 1. As análises de densidade e de sólidos totais foram realizadas em triplicata.

$$D = [(A - B) \times 1000] / C \quad (1)$$

onde A é a massa do cadinho após a pipetagem (mg); B é a massa do cadinho vazio (mg); e C é a quantidade de amostra pipetada (mL).

Posteriormente à determinação da densidade, os cadinhos foram colocados em estufa a 105 ± 3 °C por um período de 60 minutos. Após esse período, realizou-se uma nova pesagem com as amostras em temperatura ambiente, e o processo foi repetido até a massa constante. Ressalta-se que para reduzir os efeitos da umidade relativa do ar sobre as amostras, estas foram mantidas em dessecador de vidro até atingirem temperatura ambiente. O conteúdo de sólidos totais (ST) presente nas amostras avaliadas foi determinado pela Equação 2.

$$ST = [(E - B) \times 1000] / C \quad (2)$$

onde E é a massa de vinhaça seca + massa do cadinho (mg); B é a massa do cadinho vazio (mg); e C é a quantidade de amostra pipetada (mL).

2.3. Método de regressão

Empregando-se dados das safras de cana-de-açúcar de 1987/1988 até 2019/2020,⁵ desenvolveu-se uma equação no Microsoft® Excel® capaz de prever a produção de etanol total (anidro e hidratado) e a estimativa da quantidade de vinhaça produzida a partir de dados de produção de cana-de-açúcar.

2.4. Estimativa do poder calorífico superior e inferior

Para a estimativa do poder calorífico superior em base seca (PCS_{bs}) das amostras de vinhaça, utilizou-se a Equação 3 proposta por Rosa *et al.*⁶ e dados reportados por Akram *et al.*,⁷ conforme Tabela 1. Para o cálculo do poder calorífico inferior em base úmida (PCI_{bu}), utilizou-se a Equação 4.⁸

$$PCS_{bs} = [337,3 \times C + 1.417,9 \times (H - O/8) + 93,1 \times S + 23,3 \times N] / 1000 \quad (3)$$

onde $CHONS$ é o percentual em massa dos elementos carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre.

$$PCI_{bu} = [(100 - U_{eq}) / 100] \times PCS_{bs} - (\alpha + \beta) \quad (4)$$

onde

$\alpha = 2.444 \times (U_{eq} / 100)$ é a entalpia de mudança de fase da água contida na biomassa;

$\beta = 2.444 \times (H_{bs} / 100) \times 8.936 \times (100 - U_{eq} / 100)$ é a entalpia de mudança de fase da água formada a partir da combustão do hidrogênio (H_{bs} – teor de hidrogênio em base seca) contido na amostra; e U_{eq} é a umidade de equilíbrio.

Tabela 1. Dados de caracterização de vinhaça utilizados para estimar o poder calorífico

Parâmetros	Dados
Composição elementar (% em massa, base seca)	
Carbono, C	17,30
Hidrogênio, H	2,11
Oxigênio, O	8,73
Nitrogênio, N	2,10
Enxofre, S	2,10
Umidade de equilíbrio, U_{eq} (% em massa)	58,00

3. Resultados e Discussão

Visando a obtenção de dados experimentais de caracterização da vinhaça para a avaliação do seu potencial energético, a variação de massa das amostras de vinhaça *in natura* submetidas ao aquecimento foi analisada (Tabela 2). Os resultados apresentados indicam que as maiores perdas de massa de água associadas à mudança de fase de líquido para vapor ocorreram nos dois primeiros períodos de secagem. Nota-se ainda que não houve variação significativa do terceiro para o quarto período, indicando um teor de sólidos totais de aproximadamente 2% na massa residual.

Tabela 2. Dados de variação de massa e da análise de sólidos totais em amostras de vinhaça *in natura*

Períodos de secagem	Varição de massa (%)	Sólidos totais (mg/L)
1º período	-43,10 ± 1,13	573.993 ± 594
2º período	-82,79 ± 2,01	174.322 ± 590
3º período	-98,24 ± 0,01	17.787 ± 406
4º período	-98,33 ± 0,01	16.887 ± 406

Os sólidos totais incluem as frações de sólidos suspensos — normalmente retidos em sistemas de filtração —, e sólidos dissolvidos na amostra avaliada. Além da sua importância no tratamento de águas residuárias e na avaliação de sua qualidade, a análise de sólidos é requerida para estimativas de dispêndio energético em sistemas de concentração da vinhaça, visando a recuperação de água. O valor determinado experimentalmente foi de 16.887 ± 406 mg de sólidos totais para cada litro de vinhaça *in natura*.

A presença de água é um fator que confere desvantagem aos combustíveis, uma vez que interfere negativamente no poder calorífico inferior, pois parte da energia associada ao

processo de combustão é destinada à entalpia de mudança de fase da água. Logo, o acompanhamento da variação de massa é crucial para avaliar as potencialidades de um resíduo para fins energéticos.

Dessa forma, a importância deste trabalho está no fato de utilizar a vinhaça concentrada, obtida diretamente de processos industriais, como um combustível complementar em processos termoquímicos, visto que a implementação de sistemas de concentração, tais como evaporadores de múltiplos efeitos e processos de separação por membrana,^{9,10} é uma tendência para o setor sucroenergético brasileiro. Logo, uma estratégia é avaliação de misturas (*fuel blends*) entre bagaço e vinhaça de cana-de-açúcar, almejando-se a obtenção de um combustível que atenda às especificações operacionais dos usuais sistemas de cogeração.

Com relação aos sólidos totais, ou seja, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas presentes em vinhaça, estes constituem parte da fração que contribui com o potencial combustível, em função da presença de compostos que podem sofrer combustão e agregar energia sob a forma de calor aos processos termoquímicos, o que está relacionado diretamente aos tipos de ligação química encontrados na biomassa (H-C, C-Cl, C=C etc.). Os sólidos totais podem variar de 11,5 a 30,4 g/L^{10,11} em amostras de vinhaça de cana-de-açúcar e sua presença depende de diversos fatores, incluindo características do solo e variedade da cana-de-açúcar, o que justifica os amplos intervalos de valores reportados pela literatura.

Outra propriedade importante é a densidade, fundamental ao armazenamento e transporte do combustível. Considerando-se as amostras de vinhaça avaliadas neste trabalho, o valor obtido experimentalmente foi de $1,009 \pm 0,001$ g/mL, que corrobora com o teor de sólidos totais determinado, considerando-se a densidade padrão da água ($\sim 0,998$ g/mL à temperatura de 20 °C). Adicionalmente, a viscosidade é um parâmetro frequentemente utilizado no dimensionamento de tubulações e alimentadores de caldeiras. O conhecimento da viscosidade é utilizado na predição do comportamento de combustíveis fluidos em sistemas térmicos, em virtude do desenvolvimento da camada limite térmica e fluidodinâmica em dutos de alimentação. Rueda *et al.*¹² indicam que, para amostras de vinhaça de Tucumán (Argentina), a densidade varia de 1,025 (10 °Brix) a 1,265 g/mL (60 °Brix), enquanto a viscosidade varia de $9,32 \cdot 10^{-4}$ (10 °Brix) a $0,22 \cdot 10^{-4}$ N·s/m² (60 °Brix).

Modelos matemáticos são frequentemente utilizados na estimativa do poder calorífico de amostras combustíveis a partir das análises imediata e elementar. No entanto, tais modelos são incipientes para a vinhaça. Rosa *et al.*⁶ analisaram amostras de lodo obtidas em estação de tratamento de esgoto e propuseram um modelo para estimar o poder calorífico superior em base seca, utilizando-se valores referentes à análise elementar, em percentagem e em base seca. Considerando-se dados de composição elementar (CHNOS) de vinhaça reportados por Akram *et al.*,⁷ obtiveram-se os seguintes valores de poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI): 7,52 e 1,55

MJ/kg, em base seca e úmida, respectivamente. Entende-se que um resíduo com elevado poder calorífico liberará uma maior quantidade de calor, aumentando a conversão de energia quando associado a sistemas térmicos.

O baixo valor de PCI estimado (1,55 MJ/kg) está condicionado ao elevado teor de cinzas presentes em vinhaça. Dados reportados por Rueda *et al.*¹² indicaram teores em base seca de 32,6 a 40,6% para amostras de vinhaça com concentrações de 20 a 60 °Brix.

Ressalta-se que modelos matemáticos são elaborados a partir de amostras de uma determinada localidade e, portanto, podem não representar as características físico-químicas e termofísicas de outras amostras. Logo, sugere-se que a análise de poder calorífico das amostras de vinhaça avaliadas neste trabalho seja futuramente implementada.

Schopf *et al.*¹³ indicam que o PCI da vinhaça não será maior do que 10 MJ/kg, por ser composta por água, majoritariamente. Rueda *et al.*¹² reportam dados experimentais de vinhaça de Tucumán (Argentina), indicando PCS de 14 MJ/kg para vinhaça seca, 7,8 MJ/kg para vinhaça com 60 °Brix e 4,2 MJ/kg para vinhaça com 30 °Brix.

Uma importante avaliação complementar ao poder calorífico é a análise elementar de cinzas, visando à previsão de problemas de corrosão em dispositivos empregados em sistemas de conversão de energia, visto que as cinzas estão sujeitas à desvolatilização, fragmentação e condensação parcial, quando submetidas às elevadas temperaturas e, portanto, reduzem o poder calorífico.^{14,15}

Os elementos que mais contribuem com a formação de escórias e incrustações nas partes internas de dispositivos térmicos incluem, dentre outros, sódio, sílica, cálcio, potássio e cloro, sendo os dois últimos e enxofre também relacionados à corrosão. Valores de referência indicam que a vinhaça de cana-de-açúcar pode possuir até 5,3 g/L de sulfatos,^{16,17} 4,5 g/L de potássio,^{11,18} 2,7 g/L de cálcio,^{10,19} 1,2 g/L de cloro,^{4,10} e 0,3 g/L de sódio.^{19,20}

O teor de cinzas em amostras de vinhaça pode ser avaliado através da análise imediata, empregando-se as normas ASTM E790:2015, ASTM E897:1998 e ASTM E830:2004, também indicada para ser realizada em trabalhos futuros. Esta análise, além de quantificar o percentual de cinzas, determina o teor de materiais voláteis e carbono fixo, importantes para o *startup* e a manutenção do processo de combustão, respectivamente.

Para a quantificação de cinzas voláteis em combustíveis, visto que estas são volatilizadas conjuntamente aos gases de exaustão, as amostras a serem analisadas devem passar por processo de digestão ácida, necessário para fixar a composição química, obtendo-se, assim, a quantidade total de cinzas (cinzas sulfatadas). Dessa forma, as cinzas voláteis podem ser estipuladas pela diferença entre as cinzas determinadas sem e com o processo de fixação, seguindo-se a norma ASTM E2403:2012.

A vinhaça possui teores de cinzas e de materiais voláteis na ordem de 10 e 32%, respectivamente.⁷ Considerando-se valores de referência para o bagaço de cana-de-açúcar de

acordo com Camargo *et al.*,²¹ isto é, ~2% para cinzas e ~90% para materiais voláteis, pode-se concluir que a vinhaça possui elevados e baixos percentuais de cinzas e materiais voláteis, respectivamente, o que indica a necessidade de seu uso em misturas combustíveis.

Com o intuito de estimar a quantidade de vinhaça produzida nos processos fermentativos, uma análise de regressão linear foi realizada (Figura 1). O elevado valor encontrado para R^2 era esperado, uma vez que representa o grau de dependência entre as variáveis de entrada (produção de cana-de-açúcar e de etanol).

A partir de dados relacionados às safras de cana-de-açúcar de 1987/1988 até 2019/2020, modelou-se a Equação 5 para a realização de previsões de produção de etanol. A Equação 6 e Equação 7 foram ajustadas visando um modelo que relacione a produção de cana-de-açúcar com a quantidade de vinhaça produzida, considerando a estimativa de produção de vinhaça de 10 a 15 litros para cada litro de etanol produzido, respectivamente.

$$Y = 0,0428 \cdot X + 1.155,3 \quad (5)$$

$$Y' = 0,428 \cdot X + 11.553 \quad (6)$$

$$Y'' = 0,642 \cdot X + 17.329,5 \quad (7)$$

onde X indica a produção de cana-de-açúcar (em mil toneladas); Y a produção de etanol (em mil metros cúbicos); Y' a quantidade de vinhaça 10:1 produzida (em mil metros cúbicos); e Y'' a quantidade de vinhaça 15:1 produzida (em mil metros cúbicos).

Empregando-se dados referente à safra de 2019/2020 (642.677 mil toneladas de cana-de-açúcar), obtiveram-se entre 286,6 e 430 milhões de metros cúbicos de vinhaça, o que realça a importância do estabelecimento de rotas tecnológicas de tratamento e recuperação de recursos deste efluente. Além disso, os volumes de vinhaça obtidos poderão ser ainda maiores, considerando-se o promissor processo de produção de etanol de segunda geração (2G), isto é, a partir do uso de biomassa lignocelulósica (bagaço e palha de cana-de-açúcar).

Portanto, a proposição de alternativas à destinação da vinhaça é fundamental para contornar os problemas atrelados ao seu crescente acúmulo. E, neste sentido, o aproveitamento energético é uma solução estratégica, buscando-se complementar o conceito de *waste to energy*—utilização de tecnologias e processos integrados de tratamento de resíduos (combustão, gaseificação, pirólise etc.) como forma de destinação final ambientalmente adequada, visando a recuperação energética e a reciclagem de recursos—do setor sucroenergético, que já emprega o bagaço de cana-de-açúcar em sistemas de cogeração para obtenção de energia elétrica. Dessa forma, sugere-se a implementação da vinhaça como combustível complementar, corroborando, assim, com os objetivos 7 (energia limpa e acessível), 13 (ação contra a mudança global do clima) e 17 (parcerias e meios de implementação) da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável.

Além disso, o aproveitamento energético da vinhaça de cana-de-açúcar pode promover a expansão dos biocombustíveis na matriz energética nacional, prevista na Política Nacional de Biocombustíveis (*RenovaBio*), instituída através da Lei nº 13.576/2017, além de ampliar o desempenho ambiental e a sustentabilidade da cadeia produtiva do etanol. Logo, a implementação do conceito de biorrefinaria de resíduos deve ser encorajada para que os principais desafios relacionados à destinação ambientalmente adequada dos resíduos sejam contornados, buscando-se aprimorar a sustentabilidade da cadeia produtiva do etanol.

4. Conclusões

O baixo poder calorífico da vinhaça de cana-de-açúcar obtido neste trabalho inviabiliza seu uso como combustível em sistemas de cogeração do setor sucroenergético. Por outro lado, como o bagaço é utilizado para este fim, sugere-se o emprego de *fuel blends*, com a vinhaça atuando como combustível complementar. Dessa forma, passivos socioambientais advindos da geração e acúmulo poderão ser mitigados a partir da conversão energética, dialogando com alternativas à destinação de efluentes industriais e objetivos da Agenda 2030

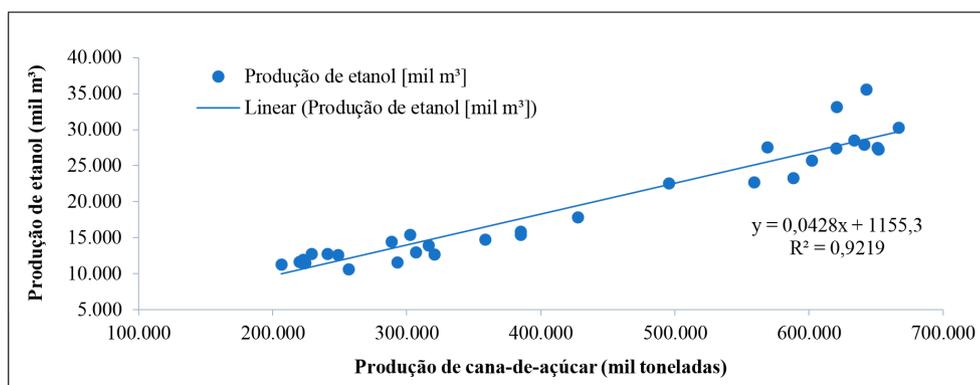


Figura 1. Dispersão da produção de etanol frente à produção de cana-de-açúcar

da Organização das Nações Unidas. Por fim, recomendam-se trabalhos investigativos futuros acerca de análises combustíveis complementares (análise elementar de cinzas, por exemplo), a fim de identificar problemas atrelados à combustão da vinhaça.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Caracterização de Biomassa e Biocombustíveis (LACABIO[®]) da Universidade Federal do ABC (UFABC) com aporte financeiro da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) (processo PD-0553-0022/2012), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 2011/51902-9 e 2012/50718-2) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 470481/2012).

Referências Bibliográficas

- Moraes, B. S.; Zaiat, M.; Bonomi, A.; Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2015**, *44*, 888. [CrossRef]
- Nizami, A. S.; Rehan, M.; Waqas, M.; Naqvi, M.; Ouda, O. K. M.; Shahzad, K.; Miandad, R.; Khan, M. Z.; Syamsiro, M.; Ismail, I. M. I.; Pant, D.; Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. *Bioresource Technology* **2017**, *241*, 1101. [CrossRef]
- Fuess, L. T.; Zaiat, M.; Economics of anaerobic digestion for processing sugarcane vinasse: Applying sensitivity analysis to increase process profitability in diversified biogas applications. *Process Safety and Environmental Protection* **2018**, *115*, 27. [CrossRef]
- Nakashima, R. N.; Oliveira Junior, S.; Comparative exergy assessment of vinasse disposal alternatives: Concentration, anaerobic digestion and fertirrigation. *Renewable Energy* **2020**, *147*, 1969. [CrossRef]
- Sítio do Observatório da Cana, Histórico de produção e moagem por safra. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/>>. Acesso em: 5 outubro 2020.
- Rosa, A. P.; Lobato, L. C. S.; Borges, J. M.; Melo, G. C. B.; Chernicharo, C. A. L.; Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e logo de reatores UASB: Estudo de caso da estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2016**, *21*, 315. [CrossRef]
- Akram, M.; Tan, C. K.; Garwood, R.; Thai, S. M.; Vinasse: A potential biofuel. Cofiring with coal in a fluidised bed combustor. *Fuel* **2015**, *158*, 1006. [CrossRef]
- Loo S. V.; Koppejan J.; *The handbook of biomass combustion and co-firing*, Earthscan: London, 2008.
- Cortes-Rodríguez, E. F.; Fukushima, N. A.; Palacios-Bereche, R.; Ensinas, A. V.; Nebra, S. A.; Vinasse concentration and juice evaporation system integrated to the conventional ethanol production process from sugarcane – Heat integration and impacts in cogeneration system. *Renewable Energy* **2018**, *115*, 474. [CrossRef]
- Lebron, Y. A. R.; Moreira, V. R.; Furtado, T. P.B.; Silva, S. C.; Lange, L. C.; Amaral, M. C. S.; Vinasse treatment using hybrid tannin-based coagulation-microfiltration-nanofiltration processes: Potential energy recovery, technical and economic feasibility assessment. *Separation and Purification Technology* **2020**, *248*, 117152. [CrossRef]
- Cerri, B. C.; Borelli, L. M.; Stelutti, I. M.; Soares, M. R.; Silva, M. A.; Evaluation of new environmental friendly particulate soil fertilizers based on agroindustry wastes biopolymers and sugarcane vinasse. *Waste Management* **2020**, *108*, 144. [CrossRef]
- Rueda, G. H. Z.; Mistretta, M. G.; Gutiérrez, C. E.; Golato, D. P.; Cárdenas, G. J.; Vinaza de caña de azúcar: Caracterización y uso como biocombustible en calderas. Em *VI Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica & I Congreso Argentino de Ingeniería Ferroviaria*, Tucumán, Argentina, 2018.
- Schopf, N.; Erbino, P.; Puvogel, A.; Alternative fuels: Energetic use of liquid by-products from sugar and soy processing. *Sugar Tech* **2014**, *16*, 333. [CrossRef]
- Magdziarz, A.; Dalai, A. K.; Kozinski, A. J.; Chemical composition, character and reactivity of renewable fuel ashes. *Fuel* **2016**, *176*, 135. [CrossRef]
- Tiburcio, R. S.; Gutierrez, A. C. G.; Malpeli-Junior, M.; Neto, A. M. P.; Evaluation of the elemental composition of municipal solid waste bottom ash: A new methodology for sample preparation. *Revista Brasileira de Energias Renováveis* **2018**, *7*, 244. [CrossRef]
- España-Gamboa, E. I.; Mijangos-Cortes, J. O.; Hernandez-Zarate, G.; Maldonado, J. A. D.; Alzate-Gaviria, L. M.; Methane production by treating vinasses from hydrous ethanol using a modified UASB reactor. *Biotechnology for Biofuels* **2012**, *5*, 1. [CrossRef]
- Jesus, G. C.; Bastos, R. G.; Silva, M. A.; Production and characterization of alginate beads for growth of immobilized *Desmodesmus subspicatus* and its potential to remove potassium, carbon and nitrogen from sugarcane vinasse. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **2019**, *22*, 101438. [CrossRef]
- Gobbo, L. M. D.; Villegas, L. B.; Colin, V. L.; The potential application of an autochthonous fungus from the northwest of Argentina for treatment of sugarcane vinasse. *Journal of Hazardous Materials* **2019**, *365*, 820. [CrossRef]
- Fregolente, L. G.; Castro, A. J. R.; Moreira, A. B.; Ferreira, O. P.; Bisinoti, M. C.; New proposal for sugarcane vinasse treatment by hydrothermal carbonization: An evaluation of solid and liquid products. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2020**, *31*, 40. [CrossRef]
- Otoni, C. A.; Simoes, M. F.; Santos, J. G.; Peixoto, L.; Souza, R. F. B.; Neto, A. O.; Brito, A. G.; Maiorano, A. E.; Em *Avanços científicos e tecnológicos em bioprocessos*; Santos, A. S., ed.; Editora Atena: Ponta Grossa, 2018, cap. 20.
- Camargo, J. M. O.; Gallego-Ríos, J. M.; Neto, A. M. P.; Antonio, G. C.; Modesto, M.; Leite, J. T. C.; Characterization of sugarcane straw and bagasse from dry cleaning system of sugarcane for cogeneration system. *Renewable Energy* **2020**, *158*, 500. [CrossRef]