

**Análise exergetica de biorrefinaria de cana-de- açúcar em paralelo a usina
sucroalcooleira tradicional****Exergetic analysis of sugarcane bio-refinery in parallel to the traditional sugar-
alcohol mil**

DOI:10.34117/bjdv6n9-472

Recebimento dos originais: 08/08/2020

Aceitação para publicação: 18/09/2020

Kellyana Siqueira Do Nascimento

Graduanda em Engenharia Mecânica do IFPI, Teresina-PI-Brasil

E-mail: kellyanasiqueira10@gmail.com

Breno Rodrigo Matos Do Nascimento

Graduando em Engenharia Mecânica do IFPI, Teresina – PI – Brasil

E-mail: b..rmatosrodrigo@gmail.com

Deney Gonçalves Carvalho Júnior

Graduando em Engenharia Mecânica do IFPI, Teresina – PI – Brasil

E-mail: deney.junior@outlook.com

Edson David Ribeiro Neto

Graduando em Engenharia Mecânica do IFPI, Teresina – PI – Brasil

E-mail: eddavid10@gmail.com

Guilherme Costa Da Silva

Graduando em Engenharia Mecânica do IFPI, Teresina – PI – Brasil

E-mail: guilhermecostaengmec@gmail.com

Manoel Raimundo Da Silva Borges Filho

Graduando em Engenharia Mecânica do IFPI, Teresina – PI – Brasil

E-mail: manoelraimundo1213@gmail.com

Anderson Felipe Chaves Fortes

Mestre em Engenharia Mecânica pela UFPB e professor do IFPI, Teresina-PI, BRASIL

E-mail: anderson.fortesem@ifpi.edu.br

RESUMO

Com a constante evolução dos setores industriais e comerciais, o aumento da demanda energética e de matéria-prima fomentou a procura por fontes alternativas renováveis. Para atender a essa exigência, a busca por novas matrizes energéticas tornou-se parte da agenda desses segmentos. Dentre as alternativas, aquelas provenientes de biomassa são as que melhor atendem aos requisitos de sustentabilidade e eficiência. Desse modo, o estudo da implementação de biorrefinarias em detrimento de refinarias convencionais se torna mais que necessário para contribuir com a redução da utilização de combustíveis fósseis nas mais diversas áreas. Nesta métrica objetivou-se caracterizar como a termodinâmica pode ser utilizada para avaliar a sustentabilidade do uso dos recursos em sistemas industriais, por meio da análise exérgica. A vista disso, o estudo de caso buscou examinar de maneira clara novas técnicas que permitiam uma melhor utilização dos escassos recursos naturais elencando uma análise de dois tipos de modelos industriais, na intenção de evidenciar a maior eficiência de um sobre o outro, sendo eles uma usina sucroalcooleira e uma biorrefinaria de cana-de-açúcar. A abordagem configurou-se de natureza bibliográfica, buscando utilizar os conceitos de exergia no intuito de avaliar a energia que pode ser aproveitada e a que não pode ser recuperada. Este projeto de pesquisa realizou uma análise exérgica dos fluxos que compõem uma usina sucroalcooleira tradicional e uma biorrefinaria sucroalcooleira. Nesta análise evidenciou-se que o aumento do número de processos industriais não é fator determinante para a redução da eficiência exérgica. Na forma tradicional, a eficiência exérgica total obtida foi de 38,5%. Na simulação da mesma usina como uma biorrefinaria, a eficiência exérgica obtida foi de 71,43%. Com relação à produção de eletricidade, observou-se que a substituição total do bagaço da cana-de-açúcar por lignina é a melhor alternativa do ponto de vista ambiental, tal substituição reduziu em 56% a produção de eletricidade na biorrefinaria. Por meio dessa metodologia, de reunir dados e realizar análises dos setores envolvidos, pôde-se concluir que as biorrefinarias são mais eficientes que as usinas, pois conseguem aproveitar melhor os recursos empregados na produção, sem desperdiçar o potencial exérgico dos resíduos e das emissões.

Palavras-chave: Biomassa, Biorrefinaria, Exergia, Sustentabilidade, Termodinâmica.

ABSTRACT

With the constant evolution of the industrial and commercial sectors, the increase in the demand for energy and raw materials has stimulated the search for alternative renewable sources. To meet this demand, the search for new energy matrices became part of the agenda of these segments. Among the alternatives, those coming from biomass are those that best meet the requirements of sustainability and efficiency. Thus, the study of the implementation of biorefineries in detriment of conventional refineries becomes more than necessary to contribute to the reduction of the use of fossil fuels in the most diverse areas. This metric aimed to characterize how thermodynamics can be used to assess the sustainability of resource use in industrial systems, through exergetic analysis. In view of this, the case study sought to clearly examine new techniques that allowed a better use of scarce natural resources by listing an analysis of two types of industrial models, with the intention of highlighting the greater efficiency of one over the other, being a sugar-alcohol plant and a biorefinery of sugarcane. The approach was configured of a bibliographic nature, seeking to use the concepts of exergy in order to evaluate the energy that can be used and that cannot be recovered. This research project carried out an exergetic analysis of the flows that compose a traditional sugar-alcohol plant and a sugar-alcohol biorefinery. This analysis showed that the increase in the number of industrial processes is not a determining factor for the reduction of exergetic efficiency. In the traditional form, the total exergetic efficiency obtained was 38.5%. In the simulation of the same plant as a biorefinery, the exergetic efficiency obtained was 71.43%. With respect to electricity production, it was observed that the total substitution of sugarcane bagasse by lignin is the best

alternative from an environmental point of view, such substitution reduced the production of electricity in the biorefinery by 56%. Through this methodology, of gathering data and conducting analyses of the sectors involved, it was possible to conclude that the bio-refineries are more efficient than the plants, because they are able to make better use of the resources used in production, without wasting the exergetic potential of waste and emissions.

Keywords: Biomass, Biorefinery, Energy, Sustainability, Thermodynamics.

1 INTRODUÇÃO

Conforme Çengel (2013) a consciência crescente de que os recursos energéticos do mundo são limitados tem levado muitos países a reexaminar suas políticas energéticas e a tomar medidas drásticas para eliminar o desperdício. A comunidade científica tem se interessado em examinar mais de perto os dispositivos de conversão de energia em desenvolver novas técnicas que permitam a melhor utilização dos limitados recursos existentes. As perspectivas de esgotamento das reservas, os riscos geopolíticos decorrentes da dependência do petróleo de países politicamente instáveis e os compromissos mais sólidos com a questão ambiental desde assinatura do Protocolo de Quioto fizeram renascer a atenção nas fontes alternativas de energia.

Ao abordar a questão ambiental deve-se levar em consideração o consumo e subsequente depleção de recursos materiais e energéticos, os quais os sistemas são responsáveis em boa parte. Com isto, surge a necessidade de um desenvolvimento sustentável, onde o mesmo visa o melhor aproveitamento dos recursos naturais produzindo através deles, uma série de melhorias biosustentáveis para a sociedade. De acordo com Prado (2005) a ideia do desenvolvimento sustentável está vinculada ao uso dos recursos naturais e desfrute do meio ambiente de modo que venha suprir as necessidades atuais, sem comprometer as futuras.

Por conta disso, o constante aumento da demanda energética e de matéria-prima formentou a procura por fontes alternativas renováveis. Uma das poucas fontes que tem potencial para atender a estes desafios de sustentabilidade é a biomassa, que aparenta ser uma alternativa viável quando comparada aos recursos tradicionais para a produção de combustíveis de transportes e de produtos químicos. Como consequência, foi apresentado um modelo industrial análogo ao de uma refinaria de petróleo e nomeado de "biorrefinaria" para produzir produtos químicos e energia a partir de biomassa.

O álcool produzido nas biorrefinarias através da cana-de-açúcar, promete vantagens sobre os combustíveis tradicionais em termos de eficiência do uso da terra e desempenho

ambiental (SEARCY,2008). O aprimoramento das tecnologias conseguiu aumentar o desempenho sustentável do etanol e pôde beneficiar o emprego de elevadas quantidades de resíduos lignocelulósicos que estão atualmente disponíveis. (CHERUBINI, 2010).

Çengel (2013) aborda que a exergia, também chamada de disponibilidade, é o máximo trabalho útil que pode ser obtido de um sistema em um determinado estado e em um ambiente especificado. Com essa ferramenta torna-se possível avaliar, quantitativamente, o que é definido, qualitativamente, de degradação de energia e permite, portanto, calcular-se com precisão as consequências dos diversos fenômenos de irreversibilidade termodinâmica e consequentemente avaliar de maneira correta as perdas termodinâmicas de um sistema

1.1 OBJETIVO

Tomando como base o exposto acima, nesta métrica objetiva-se caracterizar como a termodinâmica pode ser utilizada para avaliar a sustentabilidade do uso dos recursos em sistemas industriais, por meio da análise exérgica. O objetivo específico em estudo limita-se a redarguir, por meio de análise exérgica, se biorrefinarias sucroalcooleiras são mais eficientes do que usinas sucroalcooleiras tradicionais em termos de produção, economia e sustentabilidade.

As atividades a serem desenvolvidas são:

- Estabelecimento de modelo de Biorrefinaria Sucroalcooleira
- Caracterização de balanço exérgico em uma Usina Sucroalcooleira e em uma Biorrefinaria de cana-de-açúcar
- Realização de análise da eficiência exérgica dos processos tecnológicos com relação à sua sustentabilidade ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seleção de trabalhos utilizou a base de dados Google Acadêmico como ferramenta de pesquisa e levou em consideração os critérios ano de publicação do artigo, dando prioridade aos mais recentes, e idioma utilizado, português e inglês. Em paralelo, valeu-se do embasamento teórico utilizado nestes e disponibilidade de dados bem como o desfecho apresentado.

2.1 ANÁLISE TÉCNICO-AMBIENTAL

A percepção sobre a sustentabilidade precisa ser transformada começando pelas métricas que devem taxar o ambiente (WALL; GONG, 2001). Muitos pesquisadores sugerem que a mitigação do impacto ambiental resultante da utilização de recursos energéticos e o alcance de eficiências de utilização de recursos aumentadas são melhor consideradas pelo uso de exergia (DINCER & ROSEN, 2007). Nesta métrica citaremos os principais autores que utilizaram da temática exergia para avaliação da sustentabilidade ambiental.

Tabela 1: comparação entre diferentes aplicações da temática exergia e sustentabilidade.

Autor	Ano	Caracterização	Objetivo	Conclusão
Khrall e Pinto	2010	Abordagem revisional a cerca de sustentabilidade e exergia	Identificar as relações qualitativas ou quantitativas entre exergia e sustentabilidade	Sustentabilidade de um processo aumenta na razão direta do aumento da eficiência exergética deste
Lis Nunes	2015	Exergia e sustentabilidade aplicadas a uma usina siderúrgica integrada a carvão vegetal	Analisar a utilização da energia em uma usina siderúrgica integrada a carvão vegetal	A exergia mostra o quanto eficiente está o processo a ser analisado
Sergio	2016	Avaliação da eficiência energética em cenários de reciclagem por meio de abordagem de exergia	Avaliação da eficiência energética por meio da demanda exergética agregada aos produtos em fim	A exergia torna possível a modelagem de métodos de análise

Fonte: Autoria Própria (2019)

Para a realização da análise exergética de Biorrefinaria de cana-de-açúcar em paralelo a uma Usina Sucroalcooleira Tradicional serão considerados alguns parâmetros

essenciais para que se obtenha qual configuração é melhor em termos de eficiência exergética, termos econômicos e ambientais.

Tabela 2: Descrição dos parâmetros fundamentais para análise de Biorrefinaria em comparação à Usina Sucroalcooleira

Aspectos técnicos	Aspectos econômicos	Aspectos ambientais
Eficiência exergética da Usina tradicional	Produtividade, produção e receita do etanol anidro e do etanol hidratado.	Produção de energia elétrica.
Eficiência exergética da Biorrefinaria	Produtividade, produção e receita do açúcar	Consumo de energia elétrica

Fonte: Autoria Própria (2019)

2.2 ANÁLISE DE CONFIGURAÇÃO

A inovação e o ritmo do progresso tecnológico têm sido condicionados cada vez mais por novos desafios econômicos e ambientais relacionados à crescente demanda por matérias-primas e energia. Uma parte das novas tecnologias baseadas em recursos renováveis envolve o conceito de biorrefinarias, onde seriam fabricados biocombustíveis, energia e produtos químicos de base renovável. (BNDES, 2015)

Na análise de configuração elencar-se-ão estudos diversos realizados a fim de ressaltar a ascensão da temática sustentabilidade frente às tecnologias, mais precisamente com a utilização de biorrefinarias. Seguindo essa métrica em que a biomassa é trabalhada e transformada em vários produtos, serão elencados os principais autores que trabalharam essa tônica.

Tabela 3: comparação entre diferentes abordagens da temática Biorrefinarias e sustentabilidade

Autor	Ano	Caracterização
Deotti Rodrigues	2010	Transformação do bagaço de cana-de-açúcar em

		biocombustíveis
Rodrigues	2011	Substituição do petróleo pelos produtos e combustíveis derivados da biomassa
Oliveira, Cruz e Costa	2014	A integração energética de uma biorrefinaria de cana-de-açúcar através da análise Pinch
Grasel, Stiehl, Bernardi, Herpich, Behrens, Andrade, Schultz e Mangrich	2016	Biomassa previamente tratada para separar a celulose de outros componentes da biomassa vegetal

Fonte: Autoria Própria (2019)

3 METODOLOGIA

Do ponto de vista dos objetivos elencados nesta métrica, a seguinte pesquisa é de natureza bibliográfica sendo os problemas abordados de maneira quantitativa. Assim, os procedimentos técnicos envolverão:

- Levantamento bibliográfico.
- Levantamento de dados fornecidos na literatura base por Usina Sucroalcooleira Tradicional
- Estudo de Caso

O estudo de caso será realizado através das seguintes etapas:

- 1) Definição do limite do sistema de uma Usina Sucroalcooleira Tradicional, bem como de uma Biorrefinaria Sucroalcooleira.
- 2) Definição dos modelos tecnológicos desagregados em unidades de processo.
- 3) Coleta e cálculo dos fluxos mássicos, energéticos e exergéticos.
- 4) Análise comparativa dos modelos Tradicional e Biorrefinarias.

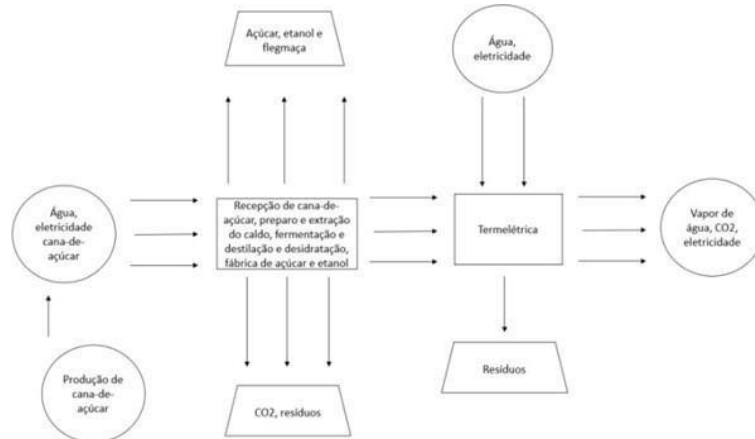
3.1 DESCRIÇÃO DE UMA USINA SUCROALCOOLEIRA TRADICIONAL

A usina tomada como base para análise nesta métrica foi agrupada em dois setores, sendo eles:

Setor A tradicional: Incorpora a recepção da cana-de-açúcar, preparo e extração do caldo, fermentação, destilação e desidratação do caldo, fábrica de açúcar e fábrica de etanol.

Setor B tradicional: Usina termelétrica.

Figura 2: Fluxograma de produtos em uma usina sucroalcooleira tradicional



Fonte: Autoria própria (2019)

3.2 DESCRIÇÃO DE UMA BIORREFINARIA SUCROALCOOLEIRA

Na biorrefinaria elencada nesta métrica o bagaço, que na usina tradicional é queimado para a produção de calor e eletricidade, passa por processos de separação de seus componentes e dá origem a três produtos: lignina, celulose e hemicelulose.

Setor A: Recepção da cana-de-açúcar e sorgo sacarino, preparo e extração do caldo, tratamento do caldo, fábrica de açúcar e fábrica de etanol.

Setor B: Usina termelétrica.

Setor C: Extração de celulose, hemicelulose e lignina

3.3 ANÁLISE EXERGÉTICA APLICADA ÀS USINAS SUCROALCOOLEIRAS

Nos subtópicos seguintes são apresentadas as equações utilizadas no cálculo de exergia e eficiência exergética de cada configuração industrial analisada no presente artigo.

3.3.1 Exergia de uma substância de processo industrial

Excluindo nuclear, magnética e elétrica, a exergia de uma substância pode ser dividida em quatro componentes: exergia cinética, potencial, física e química. Os termos exergia (ex) cinética e potencial serão negligenciados, pois as contribuições das mesmas são desprezíveis.

$$Ex = Exfis + Exqui + Excin + Expot \quad (1)$$

Tabela 4: Equações de exergia física e exergia química

Exergia física da biomassa	$Exfis = Cp[T-To-\alpha(\ln(T/To))] \quad (2)$
Exergia química de material com multicomponentes	$Exqui = \sum Exqui.xi \quad (3)$

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.3.2 Balanço exergético de uma usina sucroalcooleira tradicional

Setor A- O balanço exergético do Setor A da Usina Tradicional é dado por:

$$Excana + Exvapor + Exágua + Exelet = Exaçúcar + Exetanol + Exbagaço + Excond + Exfleg + Exvinhaça + Exres + I \quad (4)$$

A eficiência exergética do Setor A Tradicional (ψ_1) é dada por:

$$\psi_a = \frac{Exaçúcar+Exetanol+Exbagaço+Excond+Exvinhaça.+Exfleg}{Excana+Exvapor+Exágua+Exelet.} \quad (5)$$

Setor B – O balanço exergético da usina termelétrica tradicional é dado pela equação:

$$Exbagaço + Exágua + Excond + Exeletentra = Exvapor + Exelet,sai + Exres + I \quad (6)$$

A eficiência exergética da Usina Termelétrica Tradicional (ψ_b) é dada por:

$$\psi_b = \frac{Exvapor+Exelet:sai}{Exbagaço+Exágua+Excond+Exelet;entra} \quad (7)$$

3.3.3 Balanço exergético de uma biorrefinaria sucroalcooleira

Setor A - O balanço exergético do Setor A da Biorrefinaria assemelha-se ao balanço do Setor 1 da Usina Tradicional.

$$\text{Excana} + \text{Exsorgo} + \text{Exvapor} + \text{Exágua} + \text{Exelet} = \text{Exbagaço} + \text{Exetanol} + \text{Exaçúcar} + \text{Excond} + \text{Exvinhaça} + \text{Exfleg} + \text{ExCO}_2 + \text{Exres} + \text{I} \quad (8)$$

A eficiência exergética do Setor A da Biorrefinaria (ψ_a') é dada por:

$$(\psi_a') = \frac{\text{Exbagaço} + \text{Exetanol} + \text{Exaçúcar} + \text{Excond.} + \text{Exvinhaça} + \text{ExCO}_2 + \text{Exfleg}}{\text{Excana} + \text{Exsorgo} + \text{Exvapor} + \text{Exágua} + \text{Exelet}} \quad (9)$$

Setor B - O balanço exergético da termelétrica da Biorrefinaria é dado por:

$$\text{Exlignina} + \text{Exbagaço} + \text{Exágua} + \text{Excond} + \text{Exelet,entra} = \text{Exvapor} + \text{Exelet,sai} + \text{Exres} + \text{I} \quad (10)$$

Considera-se como resíduos o vapor d'água, o CO₂, o NO_x, o CO, o SO₂ e as cinzas resultantes da combustão da lignina. A exergia dos quatro últimos foi desprezada.

A eficiência exergética deste setor é dada por:

$$\psi_b' = \frac{\text{Exvapor} + \text{Exelet,sai} + \text{Exlignina}}{\text{Exbagaço} + \text{Exágua} + \text{Excond.} + \text{Exelet,entra}} \quad (11)$$

Setor C - O balanço exergético do setor de separação dos componentes do bagaço é dado por:

$$\text{Exbagaço} + \text{ExNaOH} + \text{ExH}_2\text{SO}_4 + \text{Exelet} = \text{Exlignina} + \text{Excelulose} + \text{Exhemicelulose} + \text{I} \quad (12)$$

A eficiência exergética deste setor é dada por:

$$\psi_c' = \frac{\text{Exlignina} + \text{Excelulose} + \text{Exhemicelulose}}{\text{Exbagaço} + \text{ExNaOH} + \text{ExH}_2\text{SO}_4 + \text{Exelet.}} \quad (13)$$

3.4 ESTUDO DE CASO

A seguinte pesquisa delinea-se a partir de informações obtidas na etapa de coleta de dados de inventário de ciclo de vida referentes aos fluxos mássicos e energéticos e processos

que compõem a cadeia produtiva do etanol e açúcar obtidos em uma Usina Sucroalcooleira Tradicional.

3.4.1 análise exergética da usina sucroalcooleira tradicional

Tabela 5: Cálculo de exergia dos produtos e eficiência exergética dos setores A e B da Usina Tradicional

	Equações utilizadas	Parâmetros
Setor A	(1), (2), (3), (4), (5)	Açúcar, álcool, bagaço, emissão de CO ₂
Setor B	(1), (2), (3), (6), (7)	Água, bagaço, vapor (condensado, água)

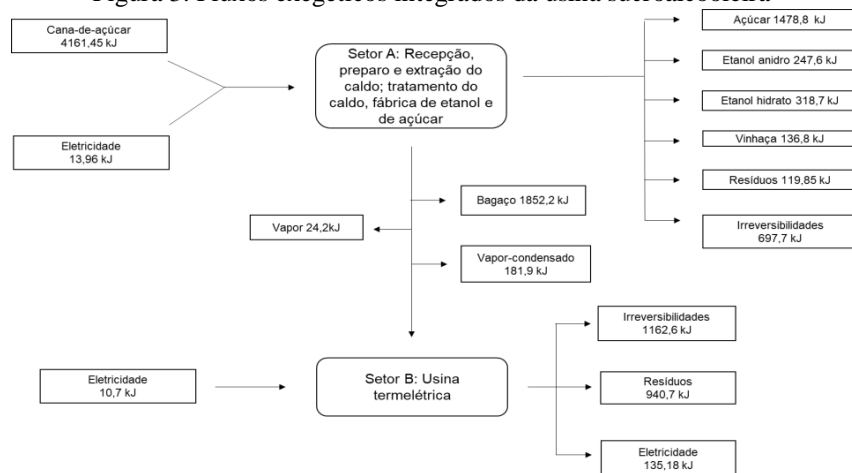
Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 5.1: Parâmetros utilizados nos cálculos de exergia dos produtos de cada setor e eficiência exergética destes setores da Usina Sucroalcooleira Tradicional em kg por tonelada de cana-de-açúcar.

Setor A		Setor B
Álcool anidro: 8,36	Bagaço: 210,4	Vapor condensado: 15.149
Álcool Hidratado: 11,51	Bagaço emitido: 12,55	Vapor de água: 427,45
Açúcar: 84,2	CO ₂ emitido: 22,31	Água: 884,7
		Bagaço: 1942

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 3: Fluxos exergéticos integrados da usina sucroalcooleira



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.4.2 Análise exergetica da Usina como uma Biorrefinaria

Simulando a Usina Sucroalcooleira como uma Biorrefinaria, o balanço exergetico destas foi realizado. A biorrefinaria será chamada BIO e todo o bagaço da cana-de-açúcar desta configuração é direcionado para o setor de separação em celulose, hemicelulose e lignina.

Tabela 6: Cálculo de exerxia dos produtos e eficiência exergetica dos Setores A , B e C da Biorrefinaria .

	Setor A	Setor B	Setor C
Equações utilizadas	(1),(1),(3),(8),(9)	(1), (2), (3),(10), (11)	(1), (2), (3),(12), (13)
Parâmetros	Açúcar, álcool, bagaço , CO2	Água, bagaço, eletricidade, lignina	Bagaço, celulose, hemicelulose, lignina.

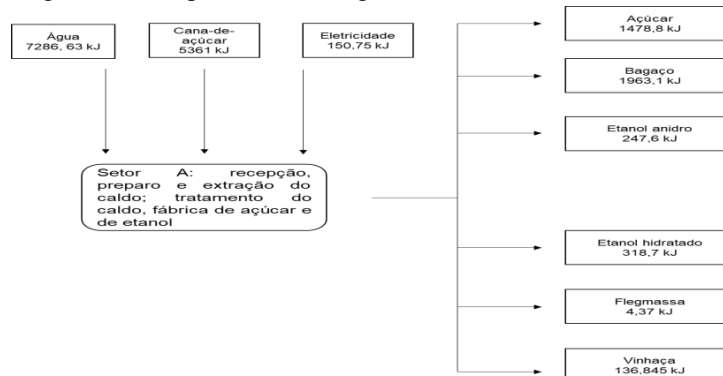
Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 6.1: Parâmetros utilizados nos cálculos de exerxia dos produtos de cada setor e eficiência exergetica destes setores da Biorrefinaria Sucroalcooleira em kg por tonelada de cana-de-açúcar

Setor A	Setor B	Setor C
Açúcar: 84,2	Água: 884,7	Bagaço: 210,4
Álcool Anidro: 8,36	Bagaço: 1942	Celulose: 156,52
Álcool hidratado: 11,51	Vapor: 427,45	Hemicelulose: 77,59
Bagaço: 210,4	Vapor condensado: 15.151,6	Lignina: 84,16

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 4: Principais fluxos exergeticos do setor A da Biorrefinaria



Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 7: comparação entre os principais fluxos exergéticos dos setores B da Usina Tradicional e da Biorrefinaria

Produto	Usina	Biorrefinaria
Lignina (entrada)	0,00	785,27
Bagaço (entrada)	1852,2	0,00
Eletricidade (saída)	134.18	60
Eficiência exergética	29%	43%

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.5 Análise das receitas dos produtos

A análise baseou-se apenas em um levantamento do preço de venda dos produtos no mercado. O valor utilizado como dólar de conversão foi R\$ 4,06. Não são consideradas despesas operacionais nem despesas financeiras.

SETOR A

A receita do Setor A da biorrefinaria é igual à receita do Setor A da Usina, pois eles têm a mesma entrada de cana-de-açúcar, o que equivale a 1.950.000 toneladas. O preço utilizado para o etanol anidro foi R\$ 0,988/litro e R\$ 0,857 para o litro do etanol hidratado bem como R\$ 71,62 para saca de 50 quilos de açúcar (CEPEA, 2019).

Tabela 8: Análise das receitas dos produtos dos setores A

Produto	Produtividade (kg/ton cana processada)	Produção (10³ ton/safra)	Receita (10⁶ US\$/safra)
Etanol Anidro	8,36	19,9	84
Etanol Hidratado	11,51	27,51	106,27
Açúcar	84,2	164,19	29,7

Fonte: Autoria Própria (2019)

SETOR C

Para a análise da hemicelulose solubilizada, considerou-se o preço de venda da mesma (US\$ 2,60/kg) como metade do preço de venda da enzima hemicelulase.

Tabela 9: Análise das receitas dos produtos do setor C

Configuração	Produtividade (kg/ton cana)	Produção (10³ ton/safra)	Receita (10⁶ US\$/safra)
Usina	0,00	0,00	0,00
Biorrefinaria	77,59	185,47	435

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.6 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Houve redução de 56% (de 134,18 kJ/hora para 60 kJ/hora) na produção de eletricidade na biorrefinaria em relação a usina tradicional. Essa redução decorre principalmente da maior solicitação desse produto de modo a suprir a inserção de novas etapas no processo.

4 RESULTADOS

A Usina Sucroalcooleira em suas configurações Usina Tradicional e Biorrefinaria será analisada. Abaixo, estão apresentados os resultados dos cálculos utilizados nesta métrica para análise das duas configurações em questão. Utilizou-se de uma eficiência de 48% do setor A da Usina Sucroalcooleira e 89% do setor A da Biorrefinaria. No setor B eficiência exergética obtida foi de 29% para a Usina e 43% para a BIO. O setor C obteve eficiência de 82,3%.

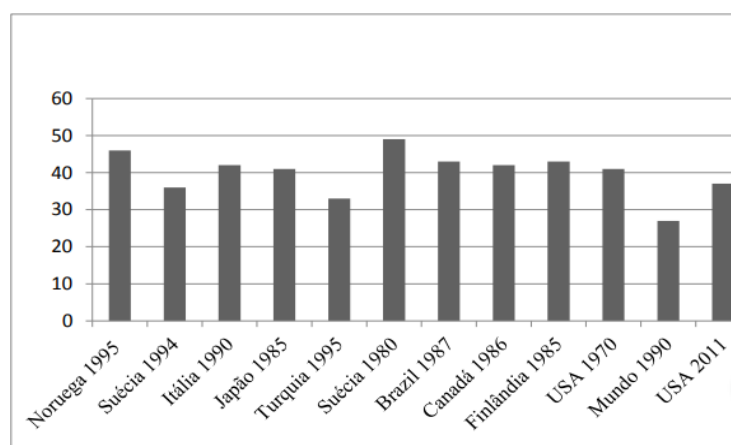
Tabela 10: Resultado dos cálculos utilizados para análise das duas configurações

	Eficiência exergética integrada (%)	Receita dos produtos (10⁶ US\$/safra)	Produção de energia elétrica (kJ/hora)
Usina	38,5	219,97	150,75
Biorrefinaria	71,43	654,97	60

Fonte: Autoria Própria (2019)

Os resultados obtidos para as duas configurações quando comparados à eficiência exergética do setor industrial, entre as décadas de 1970 e 2000, em diversos países do mundo revelam aproximação da eficiência exergética integrada da Usina Sucroalcooleira com a eficiência exergética do setor industrial dos Estados Unidos da América em 1970 e 2011 e do Japão em 1985. Além disso, esses resultados também são próximos aos resultados da análise realizada por Rubéria da Silva Caminha de Menezes em uma Usina intitulada Jalles Machado, em que obteve-se 43,5% de eficiência e 82% na configuração dessa mesma usina como uma biorrefinaria, o que valida os resultados da seguinte pesquisa.

Figura 5: eficiência exergética do setor industrial de alguns países entre as décadas de 1970 e 2000.



Fonte: MENEZES, R.S.C (2015)

5 CONCLUSÕES

Delineando caracterizar como a Termodinâmica pode ser utilizada para avaliação de sustentabilidade de processos industriais, de maneira específica, se a biomassa apresenta ser uma alternativa viável quando comparada aos recursos tradicionais para a produção de combustíveis de transportes e outros produtos, este projeto de pesquisa realizou uma análise exergética dos fluxos que compõem uma Usina Sucroalcooleira Tradicional e uma Biorrefinaria Sucroalcooleira de modo a responder se uma biorrefinaria é mais eficiente no uso de recursos do que uma usina tradicional. Dessa forma, a partir da inserção de novos processos industriais em uma configuração, evidenciou-se que tal aumento no número de etapas não é fator determinante para a redução da eficiência exergética.

Em consonância, na forma tradicional, a eficiência exergética total obtida foi de 38,5%. Na simulação da mesma usina como uma biorrefinaria, a eficiência exergética obtida foi de 71,43%, o que confere à inserção de novos processos industriais um aumento significativo na

eficiência exergética da configuração abordada. Com relação ao consumo de eletricidade, a transformação da Usina em uma biorrefinaria confere à mesma um aumento no consumo de eletricidade por conta da inserção do setor de separação dos componentes do bagaço da cana-de-açúcar, já que são utilizadas centrífugas para este processo, demandando mais energia. A substituição total do bagaço da cana-de-açúcar por lignina é uma alternativa viável, do ponto de vista ambiental, já que a utilização de resíduos de um processo como matéria prima para outro processo confere redução de compostos nocivos ao meio ambiente. Essa substituição de matéria prima, apesar de reduzir em 56% a produção de eletricidade em BIO, contribui para tais reduções de emissão de compostos maléficos ao meio. Dessa forma, da presente pesquisa conclui-se que apesar de Biorrefinarias Sucroalcooleiras demandarem mais recursos ambientais do que Usinas Sucroalcooleiras Tradicionais compensa-se no aproveitamento do potencial exergético dos resíduos e das emissões, provando-se que Biorrefinarias são mais eficientes que Usinas Sucroalcooleiras em termos de produção, economia e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- AYRES, R.; AYRES L.; MARTINAS K. Exergy, waste accounting, and life-cycle analysis. *Energy*, v. 23, p. 355-363. 1998.
- BAKSHI, B.; GUTOWSKI, T.; SEKULIC, D. *Thermodynamics and the destruction of resources*. Cambridge, 2011.
- Biorrefinarias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento. BNDS, 2012.
- CAMPANHOLA, C.; ARAÚJO, C. As biorrefinarias como estratégia de inovação e adensamento produtivo. *Agroenergia em revista*. Ano III. nº4. 2012.
- CONAMA. Resolução nº 001 de 23/01/1986. Brasília, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986. Demanda de Cana. Link: <https://www.unica.com.br/?s=Demanda+de+cana>
- EMBRAPA AGROENERGIA. *Biorrefinarias: Cenários e Perspectivas*. Brasília-DF. 176p. 2011.
- EMBRAPA. *A Plataforma Termoquímica Aplicada à Biorrefinaria*. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/noticias/?q=32480> > Acesso em: maio de 2019.
- Emissão de gases da queima da cana paulista diminuiu 44 em 25 anos. Link: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23411051/emissao-de-gases-da-queima-da-cana-paulista-diminuiu-44-em-25-anos>
- MENEZES, R.S.C (2015) *Termodinâmica e o uso eficiente de recursos: análise exérgica de um biorrefinaria de cana-de-açúcar*. Publicação ENM.TD – 33/2015. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, DF, 105p.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. *Princípios de termodinâmica para engenharia*, 4a ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.681p.
- Oliveira, Bruna Cristina. *Complexidade Em Biorrefinarias/ Bruna Cristina Oliveira*. – 2016.
- RODRIGUES, Luciana Deotti. *A cana-de-açúcar como Matéria-prima para a Produção de Biocombustíveis: Impactos Ambientais e o Zoneamento Agroecológico como Ferramenta para Mitigação*. 2010. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.
- RODRIGUES, J. Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química Nova*, v. 34, n. 7, p. 1242-1254. 2011.
- SANTOS, V. *Proposta metodológica para criação de biorrefinaria de bagaço de cana produtora de bioplataformas químicas: um ensaio preliminar como parte de um sistema de simbiose industrial em Campos dos Goytacazes-RJ*. 2013. 254 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, J. Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP.

Souza Santos, Gilmar; Tatiane de Sousa, Daniela. Aspectos econômicos das Biorrefinarias. EMBRAPA Agroenergia.

SZARGUT, J.; MORRIS, D.R.; STEWARD, F.R. Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Process, Hemisphere, New