

INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA BIORREFINARIA DE CANA-DE-AÇÚCAR VIA ANÁLISE *PINCH*

BATISTA, K. A.¹, OLIVEIRA, C. M.²

¹ Graduando em Tecnologia de Alimentos, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Matão, k.batista@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutora em Engenharia Química, IFSP, Câmpus Matão, cassiaoliveira@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.06.01.01-0 Processos bioquímicos

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP ou no 4º Congresso de Pós-Graduação do IFSP

27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: A integração energética em uma biorrefinaria de cana-de-açúcar permite reduzir o consumo de vapor na planta e, consequentemente, disponibilizar mais bagaço para a produção de etanol de segunda geração (2G) e/ou energia elétrica. No entanto, as usinas de cana-de-açúcar podem variar a produção de etanol e energia elétrica, dependendo da demanda de mercado. Este trabalho tem por objetivo realizar a integração energética de uma biorrefinaria de cana-de-açúcar em múltiplos períodos. Os períodos indicam diferentes condições de processo e diferem nas frações de bagaço desviadas para a seção de etanol 2G e cogeração de energia. Aplicando a análise *Pinch*, técnica para integração energética, foi possível verificar que a biorrefinaria com a integração energética proposta neste estudo pode alcançar uma economia de até 69% de utilidade quente e 80% de utilidade fria em relação à biorrefinaria sem qualquer integração e de até 43% de utilidade quente e 57% de utilidade fria em relação à biorrefinaria com integração de projeto, termo designado para a biorrefinaria comumente encontrada nas usinas brasileiras. Assim, é possível constatar o potencial em reduzir o consumo de vapor na planta e, consequentemente, incrementar a produção de etanol 2G e/ou de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Integração energética; Análise *Pinch*; Biorrefinaria; Etanol.

HEAT EXCHANGERS NETWORK SYNTHESIS IN A SUGARCANE BIOREFINERY VIA *PINCH* ANALYSIS

ABSTRACT: Energy integration in a sugarcane biorefinery allows to reduce the steam consumption in the process and, consequently, to provide more bagasse for second generation ethanol (2G) and/or electricity production. However, sugarcane mills may vary the production of ethanol and electricity, depending on market demand. This study aimed the energy integration of a sugarcane biorefinery by the heat exchanger networks (RTC) synthesis in multiple periods. The periods indicate different process conditions and differ in bagasse fractions diverted to 2G ethanol section and energy cogeneration. Applying *Pinch* analysis, method of energy integration, it is can see that the biorefinery with energy integration purposed in this study can achieve savings up to 69% hot utility and 80% cold utility compared to the biorefinery without energy integration and up to 43% hot utility and 57% cold utility compared to the biorefinery with project integration, a term designated for biorefinery commonly found in Brazilian plants. Thus, it is possible to verify the potential to reduce the steam consumption in the plant and, consequently, increase 2G ethanol and/or electricity production.

KEYWORDS: Energy integration; *Pinch* analysis; Biorefinery; Ethanol

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a escassez de recursos da matriz energética tem preocupado a sociedade. Em virtude da necessidade da diversificação de combustíveis, o Brasil iniciou a produção de etanol com o Proálcool, programa desenvolvido com o intuito de aumentar a escala de produção do etanol.

No Brasil, o etanol é produzido principalmente a partir do caldo de cana-de-açúcar, em um processo conhecido como produção de etanol de primeira geração (1G). Nas usinas de cana-de-açúcar, o bagaço é utilizado para produzir energia elétrica e vapor, a fim de garantir a autossuficiência

energética do processo, na produção de etanol de segunda geração (2G) e, na venda do excedente de energia elétrica.

O desenvolvimento de técnicas de integração de processos traz vantagens aos processos industriais em termos de aumento da produtividade, gestão de energia e conservação dos recursos, prevenção da poluição e redução nos custos de capital e operacional (Oliveira, 2018). A integração energética é uma técnica de integração de processos que combina correntes quentes e frias pela síntese de uma rede de trocadores de calor (RTC). Embora técnicas mais robustas de programação matemática possam ser usadas para a integração energética, a análise *Pinch* é uma técnica adequada ao problema apresentado, uma vez que os custos associados à demanda energética são mais significativos que custos de investimento da rede em biorrefinarias de cana-de-açúcar, como apresentado por Oliveira et al. (2018). Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo realizar a integração energética de três estudos de caso de uma biorrefinaria de cana-de-açúcar usando a análise *Pinch*.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução, foi utilizado um computador com processador 2.50 GHz Intel® Core™ i5-3210 com 6.00 GB of RAM e duas ferramentas computacionais gratuitas para a análise *Pinch* - software denominado Hint (Martín e Mato, 2008) e planilha de cálculos (Kemp, 2007).

Neste estudo, a biorrefinaria de cana-de-açúcar refere-se ao processo de produção de etanol 1G/2G e energia elétrica, sendo que a vinhaça e a fração líquida da etapa do pré-tratamento hidrotérmico da biomassa, rica em xilose, são usadas na produção de biogás, o qual é empregado como uma das fontes de energia da caldeira. O processo foi modelado e simulado no simulador EMSO por Furlan et al. (2013). A integração energética da biorrefinaria de cana-de-açúcar foi realizada com base nos princípios da análise *Pinch* para três estudos de casos, os quais diferem na quantidade de bagaço desviado para a produção de etanol 2G.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foram realizados estudos de caso de integração energética de uma biorrefinaria de cana de açúcar que possui uma capacidade de moagem de 833 t/h de cana-de-açúcar com produção de etanol 1G/2G e energia elétrica. Outras informações sobre os parâmetros do processo podem ser consultados em Furlan et al. (2013) e Oliveira (2018).

Uma integração energética foi realizada para cada período de operação. No Período 1 nenhuma quantidade de bagaço é desviada para a seção de produção de etanol 2G. Nos Períodos 2 e 3, 39% e 78% de todo o bagaço é desviado para a produção de etanol 2G, respectivamente. O período 3 representa a quantidade máxima de bagaço que pode ser disponibilizada para a produção de etanol 2G garantindo a autossuficiência energética do processo, ou seja, o restante do bagaço é usado na produção de vapor e energia elétrica, ambos consumidos dentro da biorrefinaria. Oito correntes quentes e 7 correntes frias estão presentes no Período 1. Enquanto os Períodos 2 e 3 têm 10 correntes quentes e 10 correntes frias.

Para iniciar a análise *Pinch* foi definido o ΔT_{min} de 10°C. Este valor foi adotado nos três períodos avaliados. O ponto *Pinch* é identificado onde as curvas compostas se aproximam, ou seja, onde as curvas estão separadas pela diferença mínima de temperatura estabelecida no problema. Assim, o diagrama é dividido em duas regiões, acima e abaixo do *Pinch*. Acima do *Pinch*, onde a curva composta fria ultrapassa a curva quente não há a possibilidade de troca de energia entre as correntes, sendo necessária uma utilidade quente. Abaixo do *Pinch*, onde não há sobreposição das curvas é necessária uma utilidade externa fria. Portanto, somente onde há sobreposição das curvas composta quente e fria, energia pode ser economizada a partir da troca de calor entre as próprias correntes do processo.

A Tabela 1 apresenta o consumo de utilidades nos três períodos do processo com a integração energética proposta neste estudo (S3), bem como dos processos sem integração (S1) e com integração de projeto (S2, processo que apresenta integração energética entre algumas correntes, tal condição é frequentemente encontrada nas usinas brasileiras). É possível observar uma queda no consumo de utilidades do processo com integração energética proposta neste trabalho comparado aos processos com integração de projeto e sem qualquer integração, indicando que ainda existem estratégias que podem otimizar o consumo de utilidades dentro da usina.

TABELA 1. Consumo de utilidades nas biorrefinarias.

Parâmetro	Período 1			Período 2			Período 3		
	S1 ¹	S2 ²	S3 ³	S1 ¹	S2 ²	S3 ³	S1 ¹	S2 ²	S3 ³
UF (MW)	171,5	120,3	60,7	283,7	154,7	70,8	404,1	191,0	81,7
UQ (MW)	227,5	176,4	116,8	342,7	213,7	129,8	466,8	253,7	145,4

¹ Biorrefinaria sem integração energética.² Biorrefinaria com integração de projeto.³ Biorrefinaria com a integração energética apresentada neste trabalho.

A Tabela 2 compara a redução no consumo de utilidade quente e fria do processo com integração energética (S3) em relação aos processos sem integração (S1) e com integração de projeto (S2). Verifica-se que a biorrefinaria com a integração energética proposta neste estudo pode alcançar uma economia de até 69% de utilidade quente e 80% de utilidade fria em relação à biorrefinaria sem qualquer integração e de até 43% de utilidade quente e 57% de utilidade fria em relação à biorrefinaria com integração de projeto. Os resultados demonstram um impacto positivo nos custos de operação, na gestão de energia e no consumo de recursos naturais, uma vez que tais recursos são usados na produção de utilidades externas como vapor e água de resfriamento.

TABELA 2. Comparação da economia em utilidades entre as biorrefinarias.

Parâmetro	Período 1		Período 2		Período 3	
	S3/ S1	S3/S2	S3/ S1	S3/S2	S3/ S1	S3/S2
UF (%)	65	50	75	54	80	57
UQ (%)	49	34	62	39	69	43

CONCLUSÕES

Os resultados permitem constatar que o consumo de energia e os custos de operação podem ser reduzidos com a análise *Pinch*, bem como a possibilidade de destinar o excedente de bagaço para incrementar a produção de etanol 2G, uma vez que a economia de vapor no processo possibilita que menos bagaço seja queimado na caldeira. É válido mencionar que são resultados preliminares e que ainda será realizada a síntese das redes de trocadores de calor para cada estudo de caso e uma rede multiperódica, a qual deve atender às diferentes condições de operação avaliadas neste estudo. Neste sentido, comparações em termos de custo das redes serão realizadas a fim de avaliar o incremento no custo de investimento da biorrefinaria com as redes de trocadores de calor propostas.

REFERÊNCIAS

FURLAN, F. F.; FILHO, R.; PINTO, F. H.; COSTA, C. B.; CRUZ, A. J.; GIORDANO, R. L.; GIORDANO, R. C. Bioelectricity versus bioethanol from sugarcane bagasse: is it worth being flexible? *Biotechnology for Biofuels*, v. 6, n. 1, p. 142, 2013.

KEMP, I. C. *Pinch Analysis and Process Integration: a user guide on process integration for the efficient use of energy*. 2 ed. Elsevier, 2007. 396 p.

MARTÍN, A.; MATO, A. F. Hint: An educational software for heat exchanger network design with the *Pinch* method. *Education for Chemical Engineers*, v.3, p.e6-e14, 2008.

OLIVEIRA, C. M.; PAVÃO, L. V.; RAVAGNANI, M. A. da S. S.; CRUZ, A. J. G.; COSTA, C. B. B. Process Integration of a Multiperiod Sugarcane Biorefinery. *Applied Energy*, v. 213, p. 520-539, 2018.

OLIVEIRA, C. M.; B. Energy Integration of Sugarcane Biorefineries with Multiperiod Operation. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, 2018.