



APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA PINCH EM UM FORNO DE UMA EMPRESA PRODUTORA DE CAL NO ESTADO DE SERGIPE

SANTOS, Michele de Oliveira¹; FRANCA, Veruschka Vieira²

¹ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe, michele.eng7@gmail.com

² Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe, veruschkafranca@gmail.com

Resumo: A tecnologia Pinch, busca uma integração energética, que tem como objetivo aproveitar o potencial térmico do processo, buscando, dessa forma, um consumo mínimo de energia e de número de utilidades de troca térmica. Este trabalho está relacionado ao estudo da Tecnologia Pinch, tendo como principal objetivo elaborar um estudo de caso sobre a aplicação dessa ferramenta de integração energética em uma empresa do estado de Sergipe. A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso e para levantamento dos dados foi realizada uma visita in loco em uma empresa produtora de cal (óxido de cálcio – CaO), para coleta de evidências, entrevista e análise documental. Os dados termodinâmicos do forno de processamento foram coletados, avaliados e utilizados para construção do diagrama de troca térmica.

Palavras-chave: Tecnologia Pinch. Energia. Integração energética.

PINCH TECHNOLOGY APPLICATION IN OVEN OF BUSINESS PRODUCING LIME IN SERGIPE STATE

Abstract: *The Pinch technology, seeks an energy integration, which aims to harness the thermal process potential, seeking thus minimal power consumption and number of heat transfer utilities. This work is related to the study of Technology Pinch, with the main objective develop a case study on the implementation of this energy integration tool in a business of the state of Sergipe. The research strategy adopted was the case study and survey data a site visit to a producer of lime company was held (calcium oxide - CaO), to collect evidence, interview and document analysis. Thermodynamic data processing furnace were collected, evaluated and used for construction of the heat exchange diagram.*

Keywords: Pinch technology. Energy. Energy integration.

1. Introdução

O atual cenário de grandes variações de mercado em que as organizações estão inseridas, tais como, concorrência, elevação no preço dos recursos energéticos, competitividade, bem como a busca pela sustentabilidade, tem motivado muitas empresas a buscarem ferramentas que promova a eficiência da utilização de seus recursos.

Por volta da década de oitenta o mundo passou por uma intensa crise energética, ocasionada por um forte aumento no valor do petróleo. Esse episódio, veio destacar a necessidade da utilização eficiente de combustíveis para geração de energia em processos químicos (NOVAZZI, 2001).

Também vale ressaltar a busca crescente pela minimização de impactos ambientais decorrentes da queima de combustíveis fósseis. Dessa forma, as organizações estão em busca de técnicas e ferramentas inovadoras que promovam o uso mais consciente dos seus recursos.

A principal finalidade da tecnologia Pinch é fornecer ferramentas necessárias para determinar o consumo mínimo de utilidades de um processo. A sua implementação requer um certo investimento de capital, no qual o retorno é geralmente dado em longo prazo.

A economia típica identificada como parte de uma análise Pinch em setores como refinamento de petróleo, químicos, siderurgia, papel e celulose, petroquímica e processamento de alimentos são os seguintes (RESSOURCES NATURELLES CANADA, 2003):

- Economia do consumo de energia: de 10% a 35%
- Economia do consumo de água: de 25% a 40%
- Economia do consumo de hidrogênio: de até 20%

Desse modo, a Tecnologia Pinch é uma das melhores alternativas para a otimização dos recursos. Assim, apresenta-se como uma boa alternativa para ser implantada nas indústrias, tendo em vista o cenário atual de altos custos e desperdícios com recursos energéticos.

O objetivo principal desse trabalho foi elaborar um estudo de caso sobre a aplicação de uma ferramenta de integração energética, denominada tecnologia Pinch, em uma empresa do estado de Sergipe.

2. Revisão de literatura

2.1. A tecnologia Pinch

A tecnologia Pinch, que também pode ser chamada de (Ponto de estrangulamento energético) busca uma integração energética de processos. Tal integração tem como objetivo aproveitar o potencial térmico do processo, buscando dessa forma um consumo mínimo de utilidades de troca térmica, o que reduz o consumo de combustíveis e emissão de gases poluentes provocados durante o processo.

A integração energética possibilita a redução do consumo de utilidades no processo de modo a aproveitar o excesso de energia das correntes quentes, para disponibilizar às correntes que contenham menor energia (correntes frias). Dessa maneira, uma troca de calor ocorre e a diferença de temperatura pode ser considerada uma força motriz (RELVAS *et al.*, 2002).

De acordo com Anastasovski (2014), a tecnologia Pinch é uma ferramenta eficaz para a síntese de rede de trocadores de calor. Desse modo, a melhor solução para essa síntese utilizando-se o método Pinch, é a obtenção de um processo com menor número de utilidades possíveis.

O método de análise Pinch pode ser utilizado para estudar e propor os melhores esquemas energéticos de qualquer planta que apresente redes de trocadores de calor (RODÍGUEZ; PEDRAJA, 2001).

2.2. Demonstração do método e base de cálculos para encontrar o ponto Pinch

De acordo com Liporace (1996), duas soluções podem ser usadas para resolver a questão de troca de calor entre as correntes frias e quentes, a primeira seria utilizar utilidade quente para que as correntes frias atinjam suas metas e utilidade fria nas correntes quentes. Outra solução consiste em usar a energia disponível nas correntes quentes para complementar as necessidades das correntes frias.

Essa segunda solução proposta por Liporace (1996) é a mais viável, a qual leva em consideração a integração energética, porém deve-se determinar combinações entre as correntes para gerar uma rede de trocadores de calor ótima.

O passo inicial para determinar o ponto de estrangulamento energético (Ponto Pinch) de acordo com Liporace (1996), é o cálculo das metas e análise do problema. É necessário neste momento criar uma tabela, onde os dados necessários para compor essa tabela são descritos da seguinte maneira: T_e (temperatura de entrada), T_s (temperatura de saída), M_{cp} (Taxa de capacidade calorífica), essa taxa é calculada multiplicando a vazão (V) pela capacidade calorífica (C_p).

Sabendo-se as temperaturas iniciais e finais da corrente, pode-se determinar de que tipo elas são, se quentes ou frias. Segundo Herrera (2003), as correntes quentes são as que precisam ser resfriadas, ou seja, ocorre queda da temperatura, e com as correntes frias ocorre o inverso. Através da vazão e a capacidade de calor específico se calcula a Taxa de Capacidade Calorífica (M_{cp}) que é dada pela Equação (1).

$$M_{Cp} = V \times C_p \text{ (KW/}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

A partir da Taxa de Capacidade Calorífica encontra-se a disponibilidade de energia a ser trocada pelas correntes e determina-se o ponto Pinch para o ΔT_{min} especificado. O ΔT_{min} é diferencial mínimo de temperatura, ou seja, é o limite mínimo de um valor de temperatura aceitável para o processo.

Os dados requisitados nessa etapa são: entalpia (kW), temperatura inicial ($^\circ\text{C}$) e final ($^\circ\text{C}$) das correntes, o ΔT (variação da temperatura inicial e final das correntes), além da capacidade calorífica C_p (J/Kg $^\circ\text{C}$) e vazão (Kg/s).

O segundo passo é o cálculo do consumo mínimo de utilidades, onde deve-se estabelecer um diferencial mínimo de temperatura (ΔT_{min}) e através disso, montar um diagrama para verificar as correntes que podem trocar energia durante o processo para cada nível de temperatura. Esse

diagrama segundo Liporace (1996) possui duas escalas de temperatura, uma para as correntes quentes e outra para as correntes frias, defasadas pelo ΔT_{min} .

Para o cálculo de energia que é transferida durante o processo entre as correntes, utiliza-se a Equação (2):

$$Q = \Delta T \times \Sigma M_{cp} \quad (2)$$

Onde M_{cp} de corrente fria é negativo e M_{cp} da corrente quente é positivo. A partir desse resultado, determina-se a quantidade de energia que pode ser cedida ou adquirida entre as correntes. Após a montagem do diagrama, pode-se determinar o ponto Pinch do processo.

3. Metodologia

Este tópico refere-se ao processo de realização da pesquisa. A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso, pois se pretendia estudar a aplicação da Tecnologia Pinch no contexto das indústrias do estado de Sergipe.

Inicialmente, buscou-se encontrar uma empresa que tivesse processos de troca térmica e também, disponibilidade em participar da pesquisa através do fornecimento dos dados necessários a respeito dos seus processos.

Uma indústria situada no estado de Sergipe, produtora de cal, foi a empresa que atendeu aos requisitos do presente trabalho. A pesquisa foi realizada com base no principal equipamento utilizado para a produção da cal, o forno. Para obtenção dos dados foi realizada uma visita *in loco* na empresa e através da entrevista com a gerência, foi identificado que a organização possui um grande custo com o consumo de madeira utilizada no forno e que seria bastante interessante a realização de estudos que viabilizassem a redução desse consumo.

Além da observação e aquisição dos dados, também foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica. De acordo com Fonseca (2002), a pesquisa bibliográfica é obtida através de um levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, tais como livros, artigos científicos e páginas de web sites.

Os passos para realização deste trabalho foram:

- 1) Levantar dados da literatura sobre a produção de cal.
- 2) Levantar dados da literatura sobre fornos utilizados no processo de fabricação de cal.
- 3) Construção do fluxograma do processo de fabricação de cal.

- 4) Obtenção dos dados termodinâmicos do sistema térmico (temperaturas, pressões, entalpia, fluxos de massa e calores específicos).
- 5) Identificação das correntes quentes e frias.
- 6) Identificação da ΔT_{min} (Diferencial de temperatura mínima) para o sistema térmico inicial.
- 7) Elaboração da tabela com os valores de temperatura encontrados.

4. Resultados e Discussões

4.1. Produção da cal

Nos dias atuais, a cal possui diversas aplicações, ela abastece os setores de produção industriais de cimento, metais, celulose, indústria química, farmacêutica, higiene pessoal, alimentação, dentre outras. A cal, também conhecida como óxido de cálcio (CaO) é um produto derivado da calcinação do calcário (CaCO₃). A cal é produzida com base em calcário que possua elevado teor de cálcio ou de magnésio (SAMPAIO; ALMEIDA, 2008).

De acordo com John *et al.* (2014), o principal país que produz a cal é a China com 63% da produção mundial. Com produção reduzida, porém, ainda entre os maiores produtores estão Estados Unidos, Índia, Rússia e Brasil, o que soma cerca de 16% dessa produção.

A calcinação ou queima é a transformação do calcário em óxido de cálcio (CaO), essa transformação realiza-se em fornos a altas temperaturas, geralmente utiliza-se fornos verticais, e depende basicamente do calor fornecido, do tempo de permanência do material no forno, da temperatura e do tipo de calcário utilizado. Há dois tipos de cal: a cal virgem e a cal hidratada que é obtida a partir da cal virgem, através da adição de água (SILVA, 2009).

A cal, como já foi dito, é o resultado da calcinação de rochas calcárias em fornos a altas temperaturas. A qualidade da cal depende basicamente, da composição química do calcário, da forma como ele é calcinado. Alguns tipos de calcário são: calcário calcítico, calcário dolomítico, a calcita e o filito. A Figura 1 ilustra os mais variados tipos de calcário.

Figura 1: Alguns tipos de calcário.



Fonte: Autoria própria

Segundo John *et al.* (2014), todos os tipos de calcário são constituídos basicamente de óxido de cálcio (CaO) ou de uma mistura de óxido de cálcio (CaO) e magnésio (MgO) e podem se apresentar sob a forma de pedras ou moídas e ensacadas.

Em geral, o processo de produção da cal virgem segue as etapas descritas na Figura 2, em que a explosão da rocha antecede a etapa de mineração para extração do calcário, seguida da britagem para a quebra da rocha, a calcinação ou queima do CaO e posteriormente acontece a etapa final de moagem.

Figura 2: Ilustração do processo de produção da cal virgem



Fonte: Autoria própria

Além da cal virgem e cal hidratada, através da extração do calcário também podem ser produzidos outros produtos, como a brita, o pó de brita e o calcário agrícola por exemplo.

4.2. Fornos verticais Azbe

Vários tipos de fornos são usados no processo de calcinação. Os fornos mais comuns usados no Brasil são o forno vertical de cuba simples (também conhecidos como Forno Azbe), fornos de fluxo paralelo regenerativo (conhecidos como Maerz), fornos rotativos e os fornos de alvenaria (JOHN *et al.*, 2014).

De acordo com Silva (2009), os combustíveis mais utilizados pelo setor de produção da cal eram coque de petróleo (30%), gás natural (20%), lenha (20%), óleo combustível (20%) e carvão (10%).

Os Fornos verticais de tipo *Azbe* são aquecidos através de múltiplas injeções e controle do gás, com recirculação de ar. Grande parte de ar quente é retirada da seção de arrefecimento da cal, de modo a evitar a zona mais quente de calcinação e reduzir a temperatura neste local. A retirada da cal ocorre de acordo com um controle automático (TOMAS, 2007).

Dentre os diversos impactos ambientais ocasionados devido a produção da cal encontram-se o alto consumo de energia, o excesso de ruído e poeira, as altas emissões de dióxido de carbono na atmosfera, a produção de resíduos e a alteração na paisagem por conta da mineração (JOHN *et. al*, 2014).

A busca pela melhoria no desempenho dos fornos é de suma importância para a diminuição da energia consumida pelo setor e também para a diminuição de emissão de dióxido de carbono. Nesse sentido, a tecnologia Pinch surge também, como um método de auxílio, através da obtenção de uma integração entre as energias trocadas no forno, o que pode contribuir positivamente no seu desempenho.

Figura 3: Visualização dos Fornos



Fonte: Autoria própria

Na Figura 3, pode-se visualizar os fornos que foram utilizados para a presente pesquisa. A operação do forno é realizada de maneira automática, onde é possível observar e controlar por

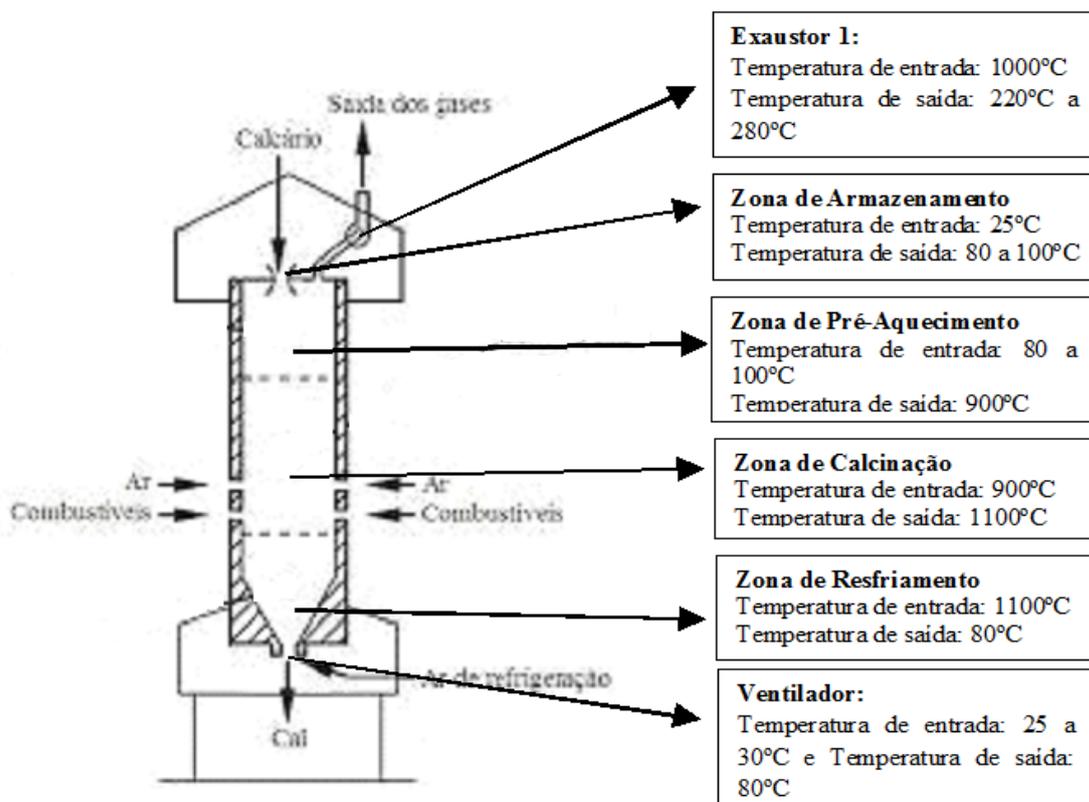
parte do operador, todas as ações referentes ao seu devido funcionamento, esse controle é feito através de um sistema e a sua observação ocorre através do computador.

4.3. Dados termodinâmicos

Através da visita à empresa, foram obtidos os dados necessários a análise e aplicação da tecnologia Pinch para a concretização da presente pesquisa. A análise do processo de funcionamento do forno foi feita através da consulta a uma apostila disponibilizada pela organização para auxiliar no desenvolvimento desse trabalho, como também por intermédio das informações disponibilizadas pelo operador do forno.

O equipamento analisado no processo de produção da cal foi o forno, cuja denominação é: Forno *Azbe* vertical. Em geral, o forno é dividido em quatro zonas, zona de armazenamento, zona de pré-aquecimento, zona de calcinação (ou zona de queima) e zona de resfriamento, tais zonas estão identificadas na Figura 4 com suas respectivas temperaturas de entrada e saída.

Figura 4: Forno *Azbe* Vertical



Fonte: Ochoa et al. (2010) adaptado.

As utilidades identificadas no forno podem ser classificadas da seguinte maneira:

- Utilidade Quente: *A queima da lenha como combustível.*

Tipo de lenha utilizada: madeira de eucalipto

- Temperatura de entrada: 1100°C
- Temperatura de saída: 500 a 650°C

- Utilidade Fria: *Ar atmosférico*

- Temperatura de entrada: Temperatura ambiente de aproximadamente 25°C
- Temperatura de saída: 80°C (Saída da Cal)

Para a produção da cal, faz-se necessário a transformação do carbonato de cálcio (CaCO₃), também chamado de calcário, em óxido de cálcio (CaO), a chamada cal virgem. A equação para esta reação é demonstrada da seguinte maneira:



O processo de transformação do CaCO₃ (Carbonato de cálcio) em cal virgem (CaO) acontece da seguinte forma, ao longo das zonas do forno:

- **Zona de pré-aquecimento:** É a zona que se inicia o aquecimento do calcário pelo calor resultante da passagem de gases com duração aproximada de 8 horas.
- **Zona de queima (Calcinação):** É a zona onde se processa a combustão do gás proveniente do gasogênio CO que libera calor, o que provoca a dissociação do CaCO₃ transformando-o em óxido de cálcio e liberando o gás resultante da reação de combustão o CO₂ (dióxido de carbono). A cal permanece nessa zona por aproximadamente 8 horas. A cal virgem sai a uma temperatura aproximada de 1000°C.
- **Zona de resfriamento:** Nesta zona, o óxido de cálcio (Cal virgem) recebe um choque térmico do ar frio (ar atmosférico) o qual é introduzido no forno por um ventilador chamado de ar de combustão. O ar que entra pelas “bocas” de descarga numa temperatura ambiente provoca uma troca de calor com a cal virgem.

Em cada etapa do processo de calcinação existe uma demanda de energia, a seguir estão descritas algumas dessas necessidades de calor para cada operação:

- 1) Para aquecer o calcário de 25°C a 900°C: 600 Kcal/kg de cal
- 2) Para transformar o calcário em cal: 730 Kcal/kg de cal

- 3) Para aquecer a cal de 900°C a 1100°C: 50 Kcal/kg de cal
- 4) Total de calor necessário: 1380 Kcal/kg de cal

Na zona de pré-aquecimento mostrada na Figura 7, os gases perdem 215 Kcal/Kg de cal e recebem 560 Kcal/Kg de cal e na zona de resfriamento há uma recuperação de 245 Kcal/Kg.

4.4. Identificação das correntes

De acordo com os dados disponibilizados pela empresa, foi possível elaborar a Tabela 1 que contém os valores do conjunto de correntes encontradas no processo. Essa tabela possui as informações necessárias para a aplicação posterior do método da Tecnologia Pinch, em que T_e é a temperatura de entrada da corrente, T_s é a temperatura de saída.

Na Tabela 1 é possível verificar as correntes que fazem parte do processo. A corrente 1, refere-se à variação de temperatura que ocorre na zona de armazenamento, a corrente 2 está relacionada a variação de temperatura no exaustor, a corrente 3 à zona de pré-aquecimento, a corrente 4 relaciona-se com a zona de queima, a corrente 5 refere-se a zona de resfriamento e a corrente 6 está relacionada a área onde localiza-se o ventilador.

Não foi possível mostrar o M_{cp} , visto que não foi informado a vazão em cada corrente.

Tabela 1: Correntes do processo

Número	T_e (°C)	T_s (°C)	M_{cp}
1	25	80 a 100	-
2	1000	220	-
3	80 a 100	900	-
4	900	1100	-
5	1100	80	-
6	25 a 30	80	-

Fonte: Autoria Própria (2016)

A Tabela 1 apresenta as seis correntes principais, em que a corrente 2 e 5 são correntes quentes, já as correntes 1, 3,4 e 6 são correntes frias. As utilidades utilizadas no processo são o ar (Utilidade fria) e a madeira do eucalipto (Utilidade quente), a qual é queimada para produzir o calor necessário durante a produção da cal.

Inicialmente, como não se sabe qual o diferencial mínimo de temperatura (ΔT_{min}) ideal entre as correntes encontradas no processo da fabricação da cal, o ΔT_{min} adotado nesta pesquisa será de 10°C. O ΔT_{min} ideal, nesse caso, seria calculado analisando o custo que há para cada diferença de temperatura, como não se sabe o valor desse custo, faz-se uma suposição,

lembrando que um aumento no diferencial mínimo de temperatura significa uma necessidade maior do uso das utilidades, em contrapartida, a área de integração energética entre as correntes diminui. A melhor solução é encontrar um ΔT_{min} que equilibre essas duas situações e acarrete no menor custo possível para a empresa.

Para identificar as correntes que se interagem neste processo e de acordo com ΔT_{min} especificado, montou-se o diagrama de intervalos de temperatura, mostrado na Figura 5.

Figura 5: Diagrama de Intervalos de Temperatura

5	2	Q	F	1	3	4	6	Correntes envolvidas no intervalo
		1110	1100					4
		1100	1090					4
		1000	1010					4,5
		910	900					3,2,5
		800	790					3,2,5
		500	490					3,2,5
		220	210					3,2,5
		110	100					1,5
		100	90					1,5
		90	80					1,5,6
		80	70					1,5,6
		60	50					
		35	25					1,6

DMT = 10 graus Celsius

Fonte: Autorial Própria

Através deste diagrama mostrado na Figura 5, é possível verificar quais correntes estão interagindo e em qual intervalo de temperatura isso acontece. No lado direito do diagrama encontram-se as correntes frias, e do lado esquerdo, as correntes quentes. No intervalo de temperatura entre 1100°C e 900°C tem-se apenas a corrente 4 que não interage com nenhuma outra, no intervalo entre 900°C e 100°C apenas as correntes 3 e 5 interagem. Entre as temperaturas de 220°C e 80°C, as correntes 1,2 e 5 interagem. Entre 100°C e 50°C apenas as correntes 1 e 5 interagem entre si e por fim, no intervalo de 80°C e 50°C apenas a corrente 1 aparece sem interagir com nenhuma outra corrente.

5. Considerações finais

Foi possível identificar através da pesquisa bibliográfica, que a grande maioria dos trabalhos pesquisados aplicam a tecnologia Pinch em processos químicos industriais, fazendo uso dos métodos e conceitos da primeira e da segunda lei da termodinâmica para a estruturação de uma rede de trocadores de calor ideal, de modo a alcançar o número mínimo de utilidades usadas nos processos e atingir a melhor integração energética possível das correntes envolvidas. Tal integração gera vários benefícios ao processo, tais como diminuição do uso de utilidades, bem como em consequência, a minimização de emissão de poluidores na atmosfera, gerando através desses fatores uma redução de custos.

Os resultados obtidos estão de acordo com os objetivos traçados, na medida em que foi possível identificar as correntes quentes e frias do processo e construir o diagrama de correntes. A presente pesquisa contribuiu para ampliar o conhecimento na aplicação de ferramentas de melhoria de processo e levar a discussão da busca de técnicas e tecnologias de inovação de processos para o setor produtivo do estado de Sergipe.

Vale ressaltar a lacuna que existe de trabalhos de utilização da tecnologia Pinch, aplicados a fornos. Dessa forma, o presente trabalho contribuiu para promover a discussão a respeito dessa aplicação. As limitações do trabalho estão associadas a dificuldade de encontrar empresas disponíveis a participarem do trabalho, na medida em que precisam disponibilizar dados de processo. Devido a esses fatores, não foi possível determinar com exatidão o ponto Pinch, bem como determinar o consumo mínimo de utilidades.

Por fim, apesar das dificuldades encontradas a pesquisa atendeu quase em sua totalidade o objetivo proposto.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC), e a Universidade Federal de Sergipe (UFS) pela bolsa de Iniciação Científica concedida.

Referências Bibliográficas

- ANASTASOVSKI, A. Design of common heat exchanger network for batch processes. *Applied Thermal Engineering* 65 (2014) p. 458 – 468, 2014.
- BAGAJEWICZ M., VALTINSON G., THANH D.N. Retrofit of Crude Units Preheating Trains: Mathematical Programming versus Pinch Technology. *Ind. Eng. Chem. Res*, 52, p. 14913–14926. 2013.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, p.31-32. 2002.
- FREITAS, A.B.S. Metodologia "Pinch": Demonstração de Integração de Rede de Trocadores de Calor. Bahia: Escola politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2014.
- HERRERA, A. ISLAS, J. ARRIOLAS, A. Pinch technology application in a hospital. *Applied Thermal Engineering*. v.23. p. 127-139. 2003.
- HOU, S., ZHANG, Z., HUANG, Z., XIE. A. Performance optimization of solar multi-stage flash. *Desalination* 220, 524–530. 2008.
- JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R. G.; CINCOTTO, M. A., Economia de baixo carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. Produção da cal, relatório final, 2014.
- LINNHOFF, B., EASTWOOD, A. R., Overall site optimisation by pinch technology, University of Manchester Institute of Science and Technology. Jubilee supplement-Trans IChemE, vol. 75, 1997.
- LINNHOFF, B., HINDMARSH, E. The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks. *Chem.Eng.Sci.* 38(5), p. 745 – 763, 1983.
- LINNHOFF, B., TOWNSEND, D.W., BOLAND, D., HEWITT, G.F., THOMAS, B.E.A., GUY, A.R., MARSLAND, R.H. User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. The Institution of Chemical Engineers, Geo. E. Davis Building, Rugby, UK, 1982.
- LIPORACE, F.S. Síntese de Redes de Trocadores de Calor Afastadas do Ponto de Estrangulamento Energético. Dissertação (mestrado). Rio de Janeiro: Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p.163.1996.
- MATSUDA K., TANAKA S., ENDOU M., IYOSHI T. Energy saving study on a large steel plant by total site based pinch technology. *Applied Thermal Engineering* 43, p. 14 – 19. 2012.
- NERY, J. Metodologia para Aplicação de Integração Energética numa Planta Industrial. 2005. 88 f. Tese (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Bahia, Bahia. 2005.
- NGUYEN T., FÜLOP T.G., BREUHAUS P., ELMEGAARD B. Life performance of oil and gas platforms: Site integration and thermodynamic evaluation. *Energy* v. 73, p. 282 – 301. 2014.
- NOVAZZI, L.F. Síntese de redes de trocadores de calor através de técnicas de decomposição. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas - SP, p.122, 2001.
- OCHOA, P. A. G. et al. Cleaner production in a small lime factory by means of process control. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 12, p. 1171-1176, apr. 2010.
- OLIVEIRA, A.M.E.M.; ORTEGA.J.M.Q.; MOLOGNI, M. Normas e padrões para trabalhos acadêmicos e científicos da Unoeste. Unoeste – Universidade do Oeste Paulista, 2015.
- RELVAS, S., FERNANDES, M. C., MATOS, H. A., NUNES, C. P., Integração de Processos: Uma metodologia de otimização energética e ambiental. Portugal, Grupo de Integração de Processos do Centro de Processos Químicos da UTL no IST, Polar Press, Lda, p.19. 2002.
- RESSOURCES NATURELLES CANADA. L´analyse Pinch pour l´utilisation efficace: de l´énergie, de l´eau et de l´hydrogène. Sa Majesté la reine du chef du Canada, 2003.
- RODÍGUEZ, M.B.R., PEDRAJA R.E. Aplicación de la tecnología Pinch em una destiladería de alcohol, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, p. 51-57, 2001.
- SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Calcário e Dolomito. Rochas e Minerais Industriais - CETEM, 2ª Edição, 2008.
- SANTANA, M.F. Síntese automática de redes de trocadores de calor a partir de análise Pinch e programação matemática, Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, p.107, 2012.
- SILVA, José O. S. Produto RT 38 - Perfil do calcário, Ministério de Minas e Energia – MME. J. Mendo Consultoria, 2009.

TOMAS, Marcos Rogério. Dossiê Técnico – Cal e Calcário. Instituto de Tecnologia do Paraná. 2007.