

IDENTIFICAÇÃO E QUEBRA DE LAÇOS DE TROCA TÉRMICA EM REDES DE TROCADORES DE CALOR NO SOFTWARE MPINCH

Bruno Bertolo Caetano (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Leandro Vitor Pavão (Coorientador), Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani (Orientador), e-mail: ra112356@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

Engenharias/Engenharia Química

Palavras-chave: linguagem Python, Análise Pinch, redes de trocadores de calor.

Resumo:

Em muitas indústrias é necessário resfriar ou aquecer correntes de processo. Para isso, são sintetizadas redes de trocadores de calor (RTCs). Como essa síntese é complexa e de grande importância para o ramo industrial, busca-se, por meio de diversos métodos, uma rede ótima que aproveite o máximo de energia das próprias correntes de processo com o objetivo de diminuir o uso de utilidades quentes e frias. Neste trabalho, foi realizada a atualização de um software que usa a Análise Pinch e modelos derivados de superestrutura para a solução do problema de síntese de RTCs. A linguagem de programação Python foi escolhida para a atualização do software por ser gratuita, de fácil compreensão e ter vários recursos disponíveis, uma vez que o software havia sido programado em linguagem comercial.

Introdução

Observando o cenário mundial, pode-se perceber que nos últimos tempos o consumo de bens oriundos dos mais variados setores aumentou significativamente. Isso implica em uma maior demanda por produção industrial. Dentro de uma indústria, por vezes, é necessário aquecer ou resfriar correntes de processos por meio de utilidades ou fazendo com que as próprias correntes troquem calor entre si. Esta última alternativa é chamada de integração energética e se tornou muito importante nos dias atuais, pois as utilidades geralmente são provindas de recursos naturais que estão cada vez mais escassos.

Existem diversas alternativas para realizar a integração energética em processos industriais. A Análise Pinch, que é a técnica mais conhecida, pode levar à síntese de redes de trocadores de calor com o mínimo emprego de utilidades e utilizando o máximo de energia disponível pelas correntes de processo. Nela, aborda-se aplicações da primeira e da segunda leis da

termodinâmica e faz-se uso de regras heurísticas para escolher quais correntes devem trocar calor entre si. Uma das etapas da Análise Pinch é a definição de metas para o número mínimo de equipamentos e custo global mínimo da rede. Além disso, existe a etapa de construção de uma cascata de energia para uma determinada diferença mínima de temperatura entre as correntes. Com isso, pode-se identificar ao ponto de estrangulamento energético – conhecido como Pinch Point. Por ele, não há transferência de energia e, a partir dele, pode-se dividir o problema em dois subproblemas e sintetizar uma rede que utilize utilidades quentes somente acima do Pinch e utilidades frias somente abaixo do Pinch. Posteriormente, é possível evoluir a rede com a aplicação de técnicas para identificação de laços de troca térmica, por exemplo.

Outras alternativas para a integração energética de processos têm como objetivo automatizar os cálculos por meio de programação matemática. Um deles, apresentado por Costa, Pavão e Ravagnani (2018), se baseia em modelos de superestrutura para alocação de trocadores, contendo estágios e sub-estágios para maior ordenação e robustez do algoritmo.

Nesta pesquisa, foram desenvolvidos programas baseados na Análise Pinch e nos modelos de superestrutura para atualizar o software MPinch.

Materiais e métodos

O primeiro passo foi realizar uma revisão da literatura para compreender a Análise Pinch e suas aplicações, os modelos de superestrutura, o método matemático para análise de custos de construção de RTCs e também o método para identificação de laços de troca térmica dentro de uma rede de trocadores de calor. Depois disso, a programação na linguagem Python foi realizada. A versão utilizada foi a Python 3.9.6 e algumas bibliotecas padrões foram aplicadas, como: *itertools*, *math* e *sys*. Além disso, outras bibliotecas importadas foram: *numpy*, *xlrd* e *matplotlib*.

Resultados e Discussão

Quatro programas foram desenvolvidos durante o período de trabalho: dois deles referentes a superestrutura e alocação de trocadores para o cálculo da rede; um para análise de custos e cálculo da área mínima de troca térmica e, por fim, um para a identificação de laços de troca térmica.

Para o cálculo da rede e alocação de trocadores, assim como na Análise Pinch, o problema foi dividido em dois casos: acima do ponto de estrangulamento energético e abaixo dele. Sendo assim, dois algoritmos foram desenvolvidos. Nesses programas, foram criadas algumas opções para síntese da RTC, como mostra a figura abaixo:

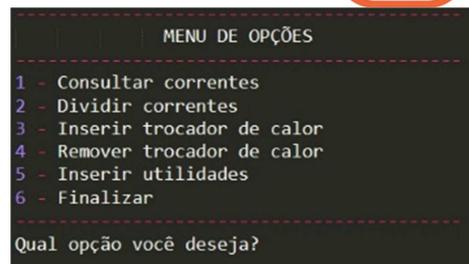


Figura 1 – Menu de opções para a síntese da RTC.

É possível consultar a disponibilidade/demanda térmica de cada corrente, dividir correntes para uma futura troca térmica, inserir um trocador de calor, remover um trocador de calor e inserir utilidades. Para efetuar esses processos, o algoritmo conta com matrizes de dimensões que variam, dependendo da quantidade de correntes e sub-correntes do problema, para armazenar as informações designadas pelo usuário e uma lógica de programação que recalcula toda a RTC caso o usuário adicione ou remova um trocador de calor. O cálculo da RTC é feito sempre do ponto Pinch para as extremidades, ou seja, no código referente a parte acima do Pinch, o cálculo é feito do ponto Pinch para maiores temperaturas e no código abaixo o oposto é realizado. Além disso, a cada recálculo, o programa verifica se há alguma irregularidade em relação a leis termodinâmicas e mostra as temperaturas de entrada e saída de cada estágio e sub-estágio para as correntes envolvidas na troca.

O algoritmo para a análise de custos e cálculo da área mínima de troca térmica é baseado em listas da própria linguagem Python. Este programa passa por vários ΔT_{min} e, para cada um deles, calcula a quantidade de utilidades necessária de acordo com o Método Tabular de Linnhoff, apresentado em Ravagnani e Suárez (2012). Depois disso, o algoritmo faz o cálculo da estimativa de área mínima de troca térmica (em m^2) e do custo de capital e operacional da rede baseado em dados fornecidos pelo problema. Por fim, há uma análise de qual ΔT_{min} tem o menor custo total e um gráfico é criado para uma análise mais intuitiva.

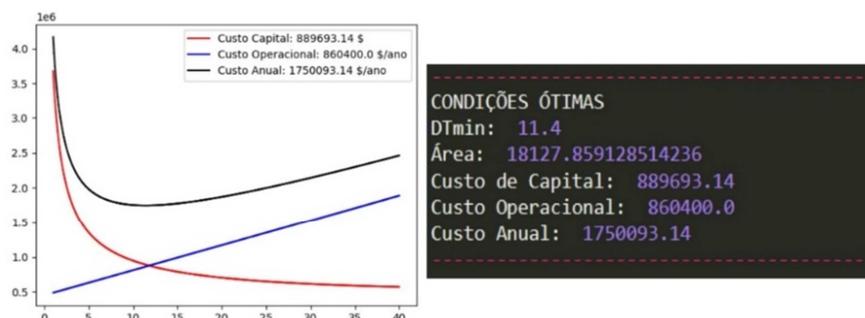


Figura 2 – Exemplo de resultados obtidos.

O último programa desenvolvido foi para a identificação de laços de troca térmica numa rede de trocadores de calor. Depois de montada a rede, é

possível que haja laços térmicos que impossibilitam a máxima eficiência da mesma. Deste modo, o programa tem como objetivo identificar estes laços para que o usuário possa fazer, ou não, as alterações necessárias. Primeiramente o algoritmo monta uma matriz incidência que mostra todos os trocadores e em quais correntes eles estão alocados. Em seguida, é efetuada uma varredura nessa matriz para poder identificar os laços. As figuras a seguir mostram a matriz incidência e também os resultados obtidos para uma RTC.

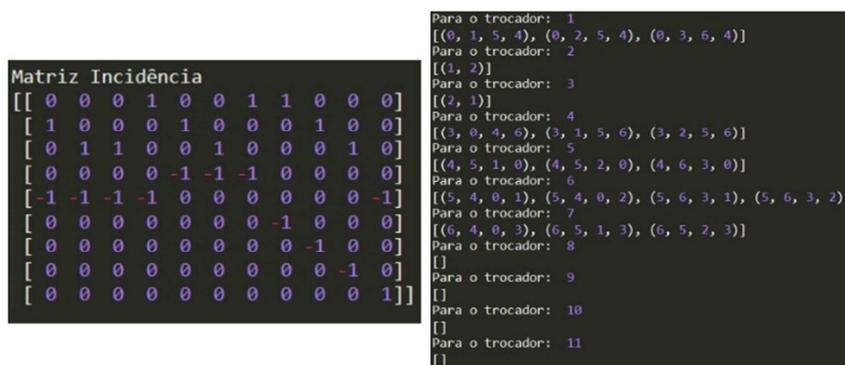


Figura 3 – Exemplo de matriz incidência e laços de troca térmica.

Conclusões

Tendo em vista os aspectos explicitados, percebe-se que é possível realizar uma análise geral de determinado problema de síntese de RTC: uma prévia – pelo programa de área e custos -, a síntese propriamente dita – pelos programas de alocação de trocadores abaixo e acima do ponto de estrangulamento energético – e a evolução da rede – pelo programa referente a identificação de laços de troca térmica. Ainda que o software deva passar por algumas mudanças e testes exaustivos visando a identificação de bugs e adição de mais funcionalidades para evolução das RTCs, os resultados obtidos são promissores no sentido de desenvolvimento de uma ferramenta amigável na síntese de RTCs.

Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq pelo auxílio na forma de bolsa de iniciação científica.

Referências

RAVAGNANI, M. A. S. S.; SUÁREZ, J. A. C. **Redes de Trocadores de Calor**. 1. ed. Paraná: Fundação Araucária, 2012.

PAVÃO, L. V.; COSTA, C. B. B.; RAVAGNANI, M. A. S. S. A new stage-wise superstructure for heat exchanger network synthesis considering substages, sub-splits and cross flows. **Applied Thermal Engineering**, P. 719-735, 2018