



APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA *PINCH* POR MEIO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE UMA REDE DE TROCADORES DE CALOR

APPLICATION OF PINCH TECHNOLOGY THROUGH A COMPUTATIONAL PROGRAM FOR PLANNING A HEAT EXCHANGER NETWORK

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PINCH MEDIANTE UN PROGRAMA INFORMÁTICO PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Yago Fraga Ferreira Brandão^{1*}, João Henrique Lewi Accioly Correia², & José Antônio Marques³

¹ Universidade Federal de Pernambuco, UFPE ^{2,3} Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP, Brasil

^{1*} yagoffb9@gmail.com ² joao-henrique2009@live.com ³ jamarkss@uol.com.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 14.04.2022

Aprovado: 20.07.2022

Disponibilizado: 22.07.2022

PALAVRAS-CHAVE: Redes de Vapor; Simulink; Matlab; Balanço Energético; Simulação.

KEYWORDS: Steam Networks; Simulink; Matlab; Energy Balance; Simulation.

PALABRAS CLAVE: Redes de vapor; Simulink; Matlab; Balance energético; Simulación

*Autor Correspondente: Brandão, Y. F. F.

RESUMO

A tecnologia Pinch é uma metodologia utilizada na otimização e dimensionamento de redes de trocadores de calor, desenvolvida inicialmente por Hohmann e Linnhoff durante a crise do petróleo em meados dos anos 70 e 80. A tecnologia Pinch visa obter melhor disposição dos equipamentos, possibilitando um processo com maior eficiência energética e redução de consumo. Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo computacional por meio da ferramenta Matlab e sua extensão para simulação de processos, o Simulink, para aplicar os princípios da tecnologia Pinch na resolução computacional de uma situação problema envolvendo uma rede de trocadores de calor. Inicialmente, foi selecionada uma situação problema envolvendo tecnologia Pinch, que foi resolvida de maneira tradicional. A partir disso o algoritmo computacional foi desenvolvido no Matlab, baseando-se nos princípios da tecnologia Pinch e fazendo uso dos dados pertencentes ao problema selecionado para estudo; realizando uma comparação dos dados originais e os encontrados pelo algoritmo para assim validar o programa desenvolvido. Após a validação do algoritmo, foi utilizado o Simulink para o desenvolvimento de um programa em linguagem de blocos, a fim de se proporcionar uma melhor visualização gráfica dos resultados obtidos, comparando-os mais uma vez com os resultados da resolução tradicional. Os resultados obtidos pelos algoritmos no Matlab/Simulink foram os mesmos obtidos pela resolução tradicional, validando desta forma os programas desenvolvidos nesta pesquisa, podendo assim auxiliar futuros trabalhos que visem aprofundar a aplicação computacional da tecnologia Pinch.

ABSTRACT

Pinch technology is a methodology used in the optimization and dimensioning of heat exchanger networks, initially developed by Hohmann and Linnhoff during the oil crisis in the mid 70's and 80's. With greater energy efficiency and consumption reduction. In this work, a computational algorithm was developed using

the Matlab tool and its extension for process simulation, Simulink, in order to apply the principles of Pinch technology in the computational resolution of a problem situation involving a network of heat exchangers. Initially, a problem situation involving Pinch technology was selected, which was solved by traditional method. From this, the computational algorithm was developed in Matlab, based on the principles of Pinch technology and using data belonging to the problem selected for study; performing a comparison of the original data and those found by the algorithm to validate the developed program. After validating the Matlab algorithm, Simulink was used to develop a program in block language, to provide a better graphic visualization of the obtained results, comparing them again with the results of the traditional method. The results obtained by the algorithms in Matlab / Simulink were the same ones obtained by the traditional method, thus validating the programs developed in this research, thus being able to assist future works that aim to deepen the computational application of Pinch technology.

RESUMEN

La tecnología Pinch es una metodología utilizada en la optimización y dimensionamiento de redes de intercambiadores de calor, inicialmente desarrollada por Hohmann y Linnhoff durante la crisis del petróleo a mediados de los años 70 y 80. La tecnología Pinch tiene como objetivo obtener una mejor disposición de los equipos, posibilitando un proceso con mayor eficiencia energética y consumo reducido. En este trabajo se desarrolló un algoritmo computacional utilizando la herramienta Matlab y su extensión para simulación de procesos, Simulink, para aplicar los principios de la tecnología Pinch en la resolución computacional de una situación problema que involucra una red de intercambiadores de calor. Inicialmente se seleccionó una situación problema que involucraba la tecnología Pinch, la cual fue resuelta de manera tradicional. A partir de esto, se desarrolló el algoritmo computacional en Matlab, basado en los principios de la tecnología Pinch y haciendo uso de datos pertenecientes al problema seleccionado para estudio; realizar una comparación de los datos originales y los encontrados por el algoritmo para validar el programa desarrollado. Luego de la validación del algoritmo, se utilizó Simulink para desarrollar un programa en lenguaje de bloques, con el fin de brindar una mejor visualización gráfica de los resultados obtenidos, comparándolos nuevamente con los resultados de la resolución tradicional. Los resultados obtenidos por los algoritmos en Matlab/Simulink fueron los mismos obtenidos por la resolución tradicional, validando así los programas desarrollados en esta investigación, pudiendo ayudar así a futuros trabajos que apunten a profundizar en la aplicación computacional de la tecnología Pinch.



1. INTRODUÇÃO

A integração energética começou a ser estudada logo após a grande crise do petróleo da década de 70, mas foi nos últimos 25-30 anos que ela começou a ser amplamente difundida. Condições de redes de trocadores de calor são analisadas para correntes que precisam ser aquecidas ou resfriadas, reduzindo o uso de energia para uma determinada parte do processo (Deveque, 2019).

Em diversas companhias industriais, uma significativa parcela de seu consumo energético total é usada para o aquecimento de processos resultando na necessidade de melhorar a eficiência de energia térmica. Uma técnica comum para melhorar a eficiência é através da recuperação de calor dos processos (Olsen, Abdelouadoud, Liem, & Wellig 2017).

O mecanismo físico da transferência de calor entre fluidos se dará pelo gradiente térmico, que desencadeia a transferência de calor do fluido mais quente ao mais frio, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica. Nesse contexto, trocadores de calor são equipamentos designados para troca térmica entre dois fluidos que se encontram separados por uma superfície, e são classificados quanto ao escoamento e à construção (Guimaraes, 2019).

A Metodologia *Pinch* é uma análise realizada em processos envolvendo troca térmica, com o objetivo de se obter melhor disposição dos equipamentos, possibilitando um processo com maior eficiência energética e pode reduzir o consumo de energia de 10 a 35%. O conceito foi originalmente apresentado em 1971 por Hohman e aprofundado em 1983 por Linnhoff (Arrotèia, 2019).

O Matlab é um ambiente computacional multiparadigmático que permite a manipulação de matrizes, plotagem de funções e dados, implementação de algoritmos e a criação de interfaces de usuário que podem ser interconectadas com programas escritos em outras linguagens. O Matlab obteve um grande alcance de aplicações em diferentes campos da ciência devido a sua capacidade na resolução de problemas (Jalalvand, Roushani, Goicoechea, Rutledge, & Gu, 2018).

O Simulink é um ambiente de modelagem e simulação que coopera com o Matlab, no qual o modelo é representado por um tipo de diagrama que representa um sistema dinâmico, O conjunto Matlab/Simulink oferece um ambiente para operações numéricas, modelagem gráfica, simulação e geração de códigos baseado em modelos (Tomita, Ishii, Murakami, Takeuchi, & Aoki, 2019).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um programa computacional que possa auxiliar o uso da tecnologia *Pinch* através do Matlab/Simulink, para resolução de uma situação problema envolvendo uma rede de trocadores calor.

2. MATERIAL E MÉTODOS

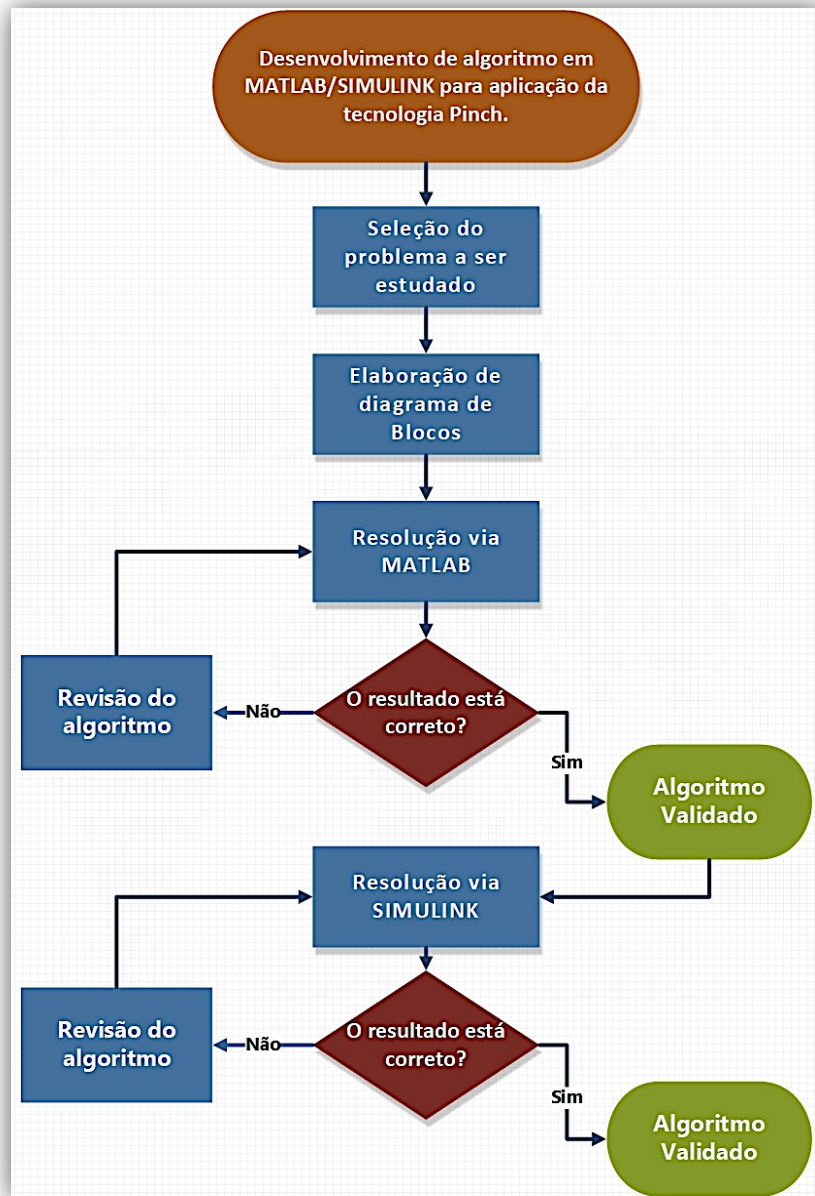
2.1 Definições da metodologia

Inicialmente foi selecionada uma situação problema envolvendo a tecnologia *Pinch* a fim de que servisse como base para o desenvolvimento do algoritmo pretendido. Após a escolha do problema foi montado um diagrama de blocos de forma a explicitar as etapas da resolução tradicional, facilitando a elaboração do algoritmo. Após entender os passos, foi elaborado um



algoritmo no Matlab, visando replicar computacionalmente os resultados da resolução tradicional. Após a checagem dos resultados do algoritmo desenvolvido no Matlab, foi elaborado um algoritmo em linguagem de blocos através do Simulink de forma que fosse possível ter uma melhor visualização gráfica dos resultados (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da metodologia



Fonte: Autores, 2020.

2.2 Situação problema

A situação problema selecionada foi disponibilizada por Marques (2018), e pede que, a partir de um conjunto determinado de dados, projete-se uma rede de trocadores de calor que atenda a condição MUMNE (*Minimum Utility Minimum Number Exchanger*) em um processo contendo seis fluxos conforme dados apresentados na Figura 2.



Figura 2. Tabela de dados da situação problema.

Corrente	Condição	Fluxo Mássico (kg/s)	Capacidade Calorífica : Cp (kW/kg °C)	m*Cp (kW/°C)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	Calor Disponível (kW)
01	Quente	10,00	0,8	8,0	300	150	1200
02	Quente	2,50	0,8	2,0	150	50	200
03	Quente	3,00	1,0	3,0	200	50	450
04	Frio	6,25	0,8	5,0	190	290	-500
05	Frio	10,00	0,8	8,0	90	190	-800
06	Frio	4,00	1,0	4,0	40	190	-600
						Total	-50

Fonte: Marques, 2018.

2.3 Construção do diagrama de blocos

A resolução tradicional da situação problema segue os seguintes passos mostrados no diagrama de blocos da Figura 3.

Figura 3. Diagrama de blocos para a resolução tradicional



Fonte: Autores, 2020.

Para a resolução tradicional, o método escolhido foi o método algébrico, semelhante ao utilizado por Deveque (2019) que envolve a construção de um diagrama onde as utilidades serão despostas acima ou abaixo da linha do ponto Pinch de acordo com relação entre os balanços térmicos de cada corrente de utilidades. A temperatura de *Approach* utilizada foi de 10°C.

2.3.1 Construir diagrama de intervalos de temperatura

Após definir o valor do *Approach*, se inicia o processo de construção do diagrama de intervalos de temperatura, sendo possível representar as relações de troca térmica entre as correntes, definir os intervalos de troca térmica bem como seus balanços energéticos.

2.3.2 Construir o diagrama de cascata

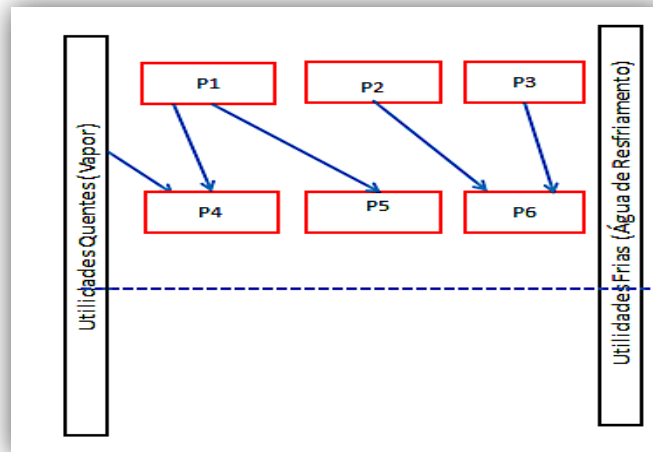
O diagrama de cascata necessita dos dados referentes ao balanço energético de cada intervalo de temperatura para ser construído. Nesta etapa são formadas as zonas acima e abaixo do Pinch, com os devidos intervalos que as compõem, bem como seus respectivos balanços energéticos e as transferências de energia que devem ocorrer entre eles.

2.3.3 Identificar o número mínimo de trocadores de calor

Na Figura 4 é possível visualizar a zona superior ao ponto Pinch no diagrama de cascata.



Figura 4. Diagrama de cascata dos processos, zona superior ao Pinch.



Fonte: Adaptado de Marques, 2018.

Observa-se na Figura 4 o ponto Pinch, que está representado pela linha pontilhada. Ainda na Figura 4, ressalta-se que cada interação formada (representada pelas setas) no diagrama de cascata dos processos é interpretada como um trocador de calor, a partir deste princípio que é possível se obter o número mínimo de trocadores de calor, sendo também possível determinar os trocadores de calor (e conseqüentemente a energia necessária) que serão utilizados pelas unidades quentes e frias da rede de vapor.

2.4 Algoritmo computacional

2.4.1 Matlab

A partir da metodologia de resolução tradicional de Marques (2018), foi desenvolvido um algoritmo através do software MATLAB, e sua ferramenta de simulação SIMULINK, para a resolução do problema na via computacional.

O código desenvolvido para o Matlab pode ser dividido em três partes, a primeira é a declaração de variáveis, onde os valores das temperaturas de entrada e saída dos 6 processos (sendo 3 quentes e 3 frios), bem como da temperatura de *Approach* e os valores resultantes de multiplicação dos fluxos mássicos pelas capacidades caloríficas de cada processo são nomeados e relacionados na programação.

Na segunda parte do algoritmo são realizados os balanços energéticos de cada intervalo de temperatura: A,B,C e D; onde o intervalo A compreende a troca térmica entre os processo 1 e 4; o intervalo B as trocas dos processos 1 e 3 com os processos 5 e 6; O intervalo C as trocas dos processos 2 e 3 com os processos 5 e 6 e o intervalo D a troca dos processos 2 e 3 com o processo 6. Na terceira parte foram utilizados laços “If” e “else”, a fim de se estabelecer condições para se determinar a temperatura Pinch; o número de trocadores abaixo e acima do Pinch; número mínimo de trocadores de calor e as utilidades quentes e frias da rede.

2.4.2 Simulink

Para o Simulink foi utilizado para resolução das duas primeiras partes do problema o código desenvolvido no Item 2.4.1 com o auxílio da função Level-2 Matlab S-Function. A terceira parte foi feita com a função do bloco if na linguagem Simulink e com o uso da ferramenta Switch.



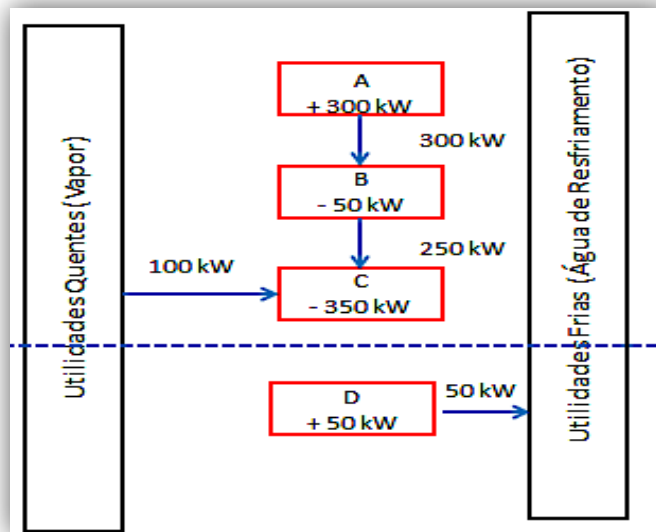
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através metodologia, foi realizada a aplicação da tecnologia *Pinch* de maneira computacional com o objetivo de dimensionar o número mínimo de trocadores de calor adequado à situação problema estudada neste trabalho.

3.1 Resultados Tradicionais

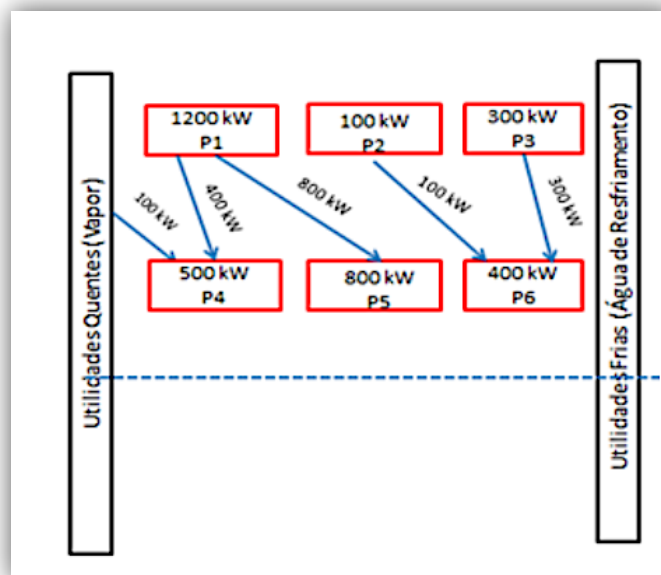
De forma a fazer a comparação de resultados encontrados por Marques (2018), encontra-se nas Figuras 5, 6 e 7 respectivamente o diagrama de cascata e balanço energético dos intervalos de temperatura; o diagrama de cascata dos processos acima do *Pinch* e o diagrama de cascata dos processos abaixo do *Pinch*.

Figura 5. Diagrama de Cascata e balanço energético dos intervalos de temperatura.



Fonte: Marques, 2018.

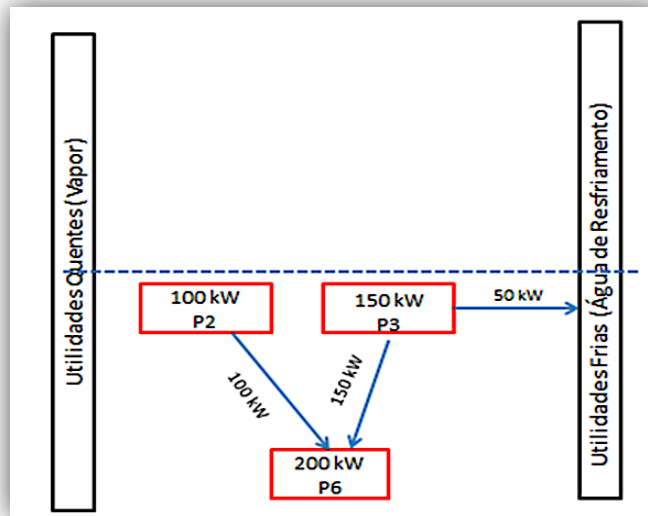
Figura 6. Diagrama de cascata dos processos acima do *Pinch*.



Fonte: Marques, 2018.



Figura 7. Diagrama de cascata dos processos abaixo do Pinch.



Fonte: Marques, 2018.

A temperatura do ponto Pinch encontrada na resolução tradicional foi de 90°C a qual está localizada na fronteira do Intervalo CD. De acordo com Palú (1995), a temperatura Pinch define a fronteira entre os processos frios e quentes, bem como a mesma faz parte da troca térmica de menor valor dentre as presentes no diagrama. O número mínimo de trocadores de calor encontrado nesta resolução foi de 8 trocadores, que são simbolizados nas Figuras 6 e 7 pelas setas que interligam os processos.

3.2 Resultados Matlab

Na Figura 8, encontram-se os resultados obtidos através da simulação do algoritmo elaborado no Matlab.

Figura 8. Resultados obtidos pela simulação do algoritmo no Matlab.

```
Command Window
Energia das Utilidades Quentes em kW
100

Temperatura da Zona Pinch
90

-----
Número de Trocadores Acima do Pinch
5

Número de Trocadores Abaixo do Pinch
3

Energia das Utilidades Frias em kW
50

Número mínimo total de trocadores de calor
8

fx >> |
```

Fonte: Autores, 2020.



Na Figura 8, são observados os resultados do balanço global das utilidades quentes e frias, o valor da temperatura no ponto Pinch, o número mínimo de utilidades acima e abaixo da zona Pinch, e o total de utilidades mínimas recomendadas para este sistema. Os resultados da simulação foram os mesmos obtidos por Marques (2018). A definição ponto Pinch foi possível estabelecendo uma condição (if) onde o valor da troca térmica realizada entre o intervalo AB e ABC (Figura 5). Essa condição foi adotada a partir da observação da resolução tradicional (disposta na Figura 3) e pela definição de Palú (1995) que o ponto Pinch é o local onde a troca de calor se torna negativa. Além desta condição foram inseridas no programa outras condicionantes (if e else) para determinação do número de trocadores acima e abaixo do ponto Pinch e da energia necessária para as utilidades quentes e frias (Figura 9).

Figura 9. Condições estabelecidas no algoritmo do Matlab

```
45 - T1 = A + B;  
46 - T2 = T1 + C;  
47 - if T2 < 0  
48 -     EUQ = T2 * (-1);  
49 - disp ('Energia das Utilidades Quentes em kW')  
50 -     disp (EUQ);  
51 -     TPin = Pi5;  
52 - disp ('Temperatura da Zona Pinch')  
53 -     disp (TPin)  
54 -     disp ('-----')  
55 -     PU= PUA+PUB;  
56 -     P3UP= P3B + P3C;  
57 -     P5= P5B +P5C;  
58 -     P6UP= P6B + P6C;  
59 -     TC1 = (EUQ + PU) - P4A;  
60 -     TC3= TC1 - P5;  
61 -     if TC1 > 0  
62 -         NTUPinch = 5;  
63 -         disp ( 'Número de Trocadores Acima do Pinch');  
64 -         disp (NTUPinch)  
65 -     else  
66 -         NTUPinch = 4;  
67 -         disp ( 'Número de Trocadores Acima do Pinch');  
68 -         disp (NTUPinch)  
69 -     end  
70 -     if TC3 > 0  
71 -         NTUPinch = 6;  
72 -         disp ( 'Número de Trocadores Acima do Pinch');  
73 -         disp (NTUPinch)  
74 -     end  
75 -     end  
76 -     TCAbP1 = P2D - P6D;  
77 -     if TCAbP1 < 0  
78 -         TCAbP2 = P3D + TCAbP1;  
79 -     end  
80 -     if TCAbP2 > 0  
81 -         NTAbsPinch = 3;  
82 -         disp( 'Número de Trocadores Abaixo do Pinch')  
83 -         disp (NTAbsPinch)  
84 -         disp ('Energia das Utilidades Frias em kW')  
85 -         disp (TCAbP2)  
86 -         NTTC = NTAbsPinch + NTUPinch;  
87 -         disp ('Número mínimo total de trocadores de calor')  
88 -         disp (NTTC)  
89 -     end
```

Fonte: Autores, 2020.



Na Figura 9 o valor da variável denominada de EUQ (Energia das utilidades quentes) é obtido a partir da condição adotada para definição do ponto Pinch, sendo este o resultado entre as trocas dos intervalos A,B e C (Figura 5) que foi de 100 kW. Após a obtenção deste valor e interpretando o formato da resolução tradicional (Figura 3), observou-se que o valor da temperatura Pinch foi de 90° C, sendo esta a temperatura do processo 5 (Figura 2). Tal interpretação foi feita por Marques (2018) por este ser o valor que representa a maior temperatura dentre os processos frios presentes no ponto Pinch, que corresponde a temperatura de entrada do processo 5. Destaca-se que apesar do processo 4 ter uma temperatura de entrada maior, o mesmo está localizado apenas no intervalo A e o intervalo correspondente ao ponto Pinch foi determinado após a troca entre o resultado do que representa o valor do intervalo AB e o intervalo C. Desta forma toda troca térmica representada pelo processo 4 foi realizada no resultado obtido no intervalo A, fazendo com o que o processo não esteja presente no ponto Pinch.

Ainda na Figura 9 notam-se condições para o número de trocadores acima do ponto Pinch, estabelecidas a partir dos valores de TC1 e TC3 que representam o valor que corresponde a troca entre o somatório das Utilidades quentes e da energia do processo 1 com a energia do processo 4 e o resultado da troca entre o valor calculado em TC1 e a energia processo 5, respectivamente. Através da determinação dos intervalos de temperatura (A,B,C e D), observou-se que o processo 1 está presente em trocas com os processos 4 e 5, e o resultado destas trocas torna necessário a utilização das utilidades quentes para o balanço energético do processo.

Desta forma compreende-se que quando o valor de TC1 é maior que zero faz-se necessário o uso de um trocador que compreende a troca dos processos 1 e 4, um segundo trocador para a troca 1 e 5, um terceiro para as utilidades quentes e mais dois que compreendem a troca entre os processos 2 e 3 com o processo 6 (presentes nos intervalos que estão acima do ponto Pinch, sendo eles A,B e C), resultando em 5 trocadores acima do ponto Pinch. Em caso de o resultado de TC1 ser menor que zero, não seriam necessários dois trocadores para o processo 1, resultando um total de 4 trocadores. Em caso de TC3 ser maior que zero o processo 1 participaria de mais um troca necessitando assim de 6 trocadores.

Uma última condição é estabelecida na Figura 9, onde o número de trocadores abaixo do ponto Pinch é interpretado pelas trocas térmicas do intervalo D. A variável denominada como TCAbP2 corresponde as trocas entre os processo 2 e 3 e o processo 6, juntamente com o uso das utilidades frias. Neste caso em específico como o ponto Pinch compreende apenas o intervalo D, e neste estão presentes dois processos quentes e um frio, para que haja um balanço energético entre os processos serão necessários 3 trocadores. Tal afirmação compreende um trocador para troca entre os processos 2 e 6, um para os processos 3 e 6 e um para as utilidades frias do processo.

Sendo o valor de utilidades frias a energia resultante da troca entre os processos quentes com o processo frio, sendo este valor de 50 kW. Por fim se faz o somatório dos trocadores abaixo e acima do ponto Pinch, resultando em 8 trocadores. Como todos os resultados encontrados pelo algoritmo foram os mesmos de Marques (2018) entende-se que o algoritmo em questão foi validado para resolver esta situação problema.



3.3 Resultados Simulink

Com a validação do algoritmo no Matlab, foi elaborado o algoritmo em linguagem de blocos (Simulink). Devido ao tamanho dos blocos utilizados, optou-se por apresentar o algoritmo em duas partes: a parte um contendo as entradas e cálculos dos intervalos e as trocas de temperaturas e a parte dois contendo a resposta a condição do bloco if e conseqüentemente a determinação dos resultados. Tais partes (um e dois) se dispõem nas Figuras 10 e 11.

Figura 10. Parte um do bloco de cálculo do algoritmo no Simulink.



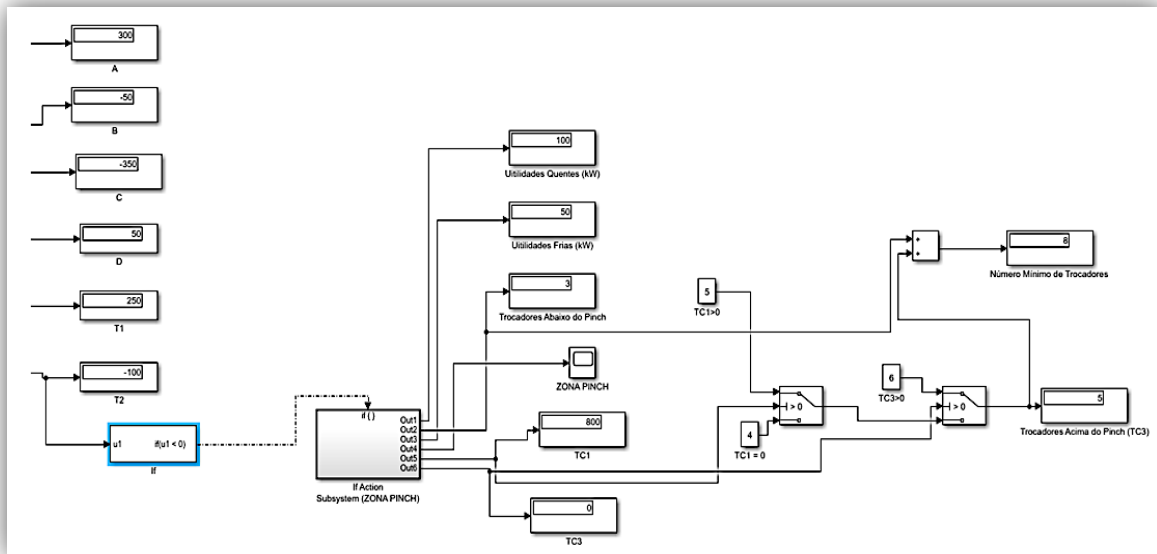
Fonte: Autores, 2020.

A Figura 10 corresponde a parte inicial do algoritmo do Simulink, no qual se encontram os inputs, fornecidos pela tabela de dados do problema estudado, que correspondem as temperaturas de entrada e saída (em graus Celsius) e aos valores de MCP (Figura 2), além do approach definido de 10 °C. O bloco Level-2 Matlab S-Function (Pinch_if) é o responsável por realizar o balanço térmico e energético dos intervalos de temperatura, que são identificados nos blocos denominados de A,B,C e D que correspondem aos intervalos de mesma denominação adotados na resolução tradicional (Figura 5). Ainda se notam os blocos T1 e T2 que representam a troca térmica do intervalo AB e do intervalo ABC, respectivamente.

O último bloco (com a sombra em azul) chamado de if, refere-se a condicional responsável por identificar se a troca de energia tem valor negativo, identificando assim a localização da zona Pinch entre os intervalos. Tal condição foi validada após o uso da mesma no algoritmo desenvolvido pelo Matlab, onde se obteve os mesmos resultados da resolução tradicional.



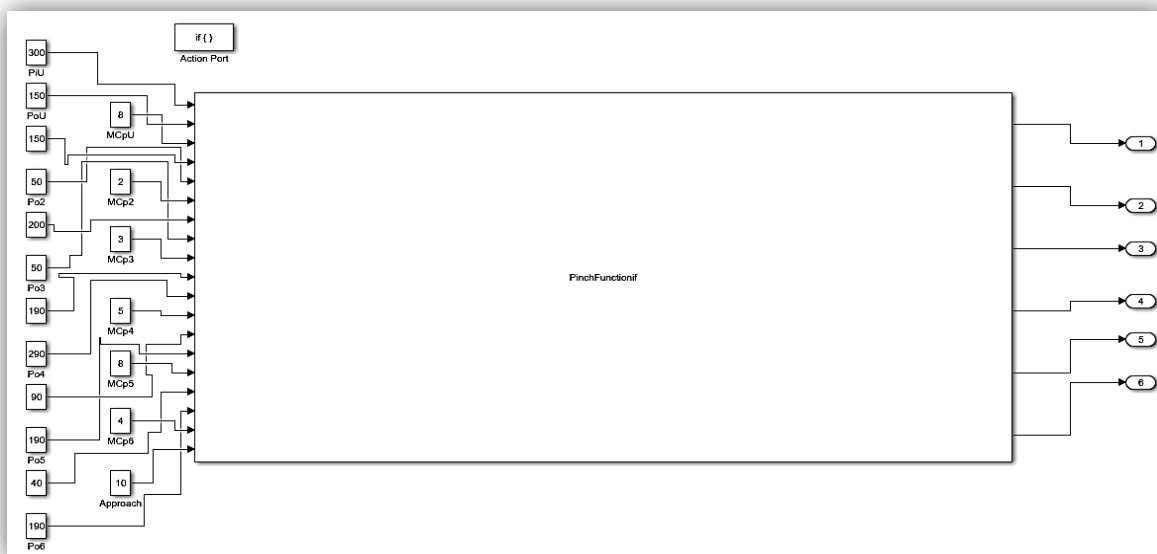
Figura 11. Parte dois do bloco lógico do algoritmo do Simulink.



Fonte: Autores, 2020.

Na Figura 11 se encontra a continuação dos cálculos, a partir da condição estabelecida. Nota-se um bloco condicionante (If Action) com seis saídas, que representam os valores energéticos em kW das Utilidades quentes e frias; um bloco de Scope (ZONA PINCH) que identifica a temperatura Pinch do processo, onde esta é determinada através da mesma lógica utilizada no algoritmo do Matlab; o número de trocadores abaixo do ponto Pinch; e as trocas de calor entre os processos acima do Pinch, sendo TC1 o valor que corresponde a troca entre o somatório das Utilidades quentes e da energia do processo 1 com a energia do processo 4 e TC3 o resultado da troca entre o valor calculado em TC1 e a energia processo 5. Uma visualização interna do bloco condicionante pode ser vista na Figura 12.

Figura 12. Vista interna do bloco condicionante.

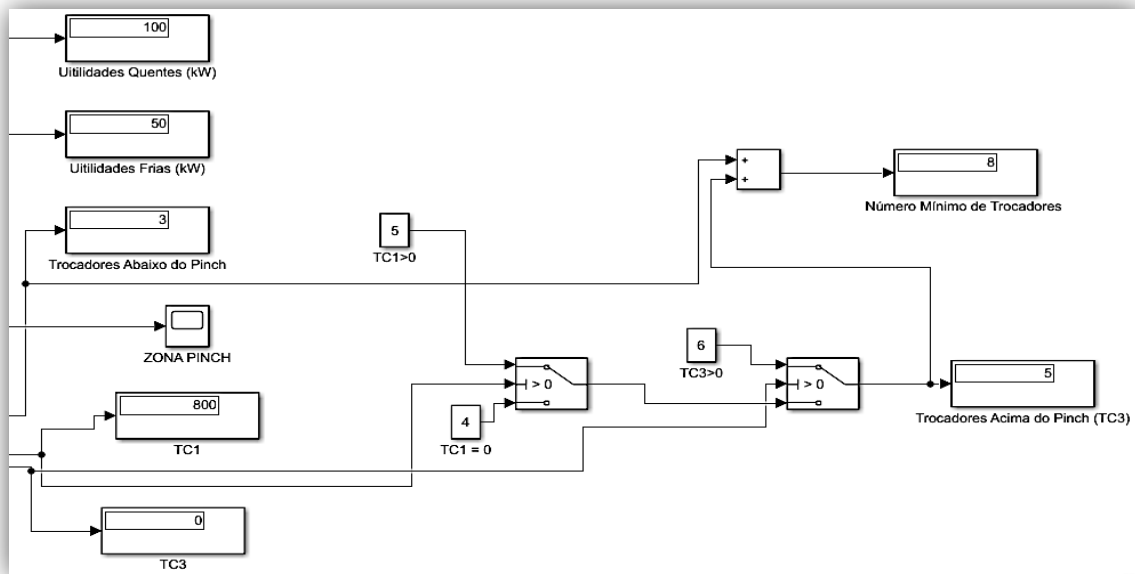


Fonte: Autores, 2020.



Na Figura 12 observa-se que foi utilizado novamente um bloco Level-2 Matlab S-Function (PinchFunctionIf) para realizar as interpretações iniciais calculadas pelo bloco Pinch_If. Tal ação foi necessária por entender que a condição estabelecida é o que identifica o ponto Pinch, sendo assim sem a condição o programa seria condicionado apenas a calcular uma resposta pré-definida. O ato de realizar as condições iniciais calculadas é um artifício para que o programa utilize o que já foi calculado pelo bloco Pinch_If e calcule (atendendo a condição) as energias das utilidades quentes e frias, a temperatura em Pinch, o número de trocadores abaixo do ponto Pinch e as trocas entre os processos. Os resultados obtidos a partir do bloco If Action, estão dispostos na Figura 13.

Figura 13. Resultados obtidos após atender a condição estabelecida.

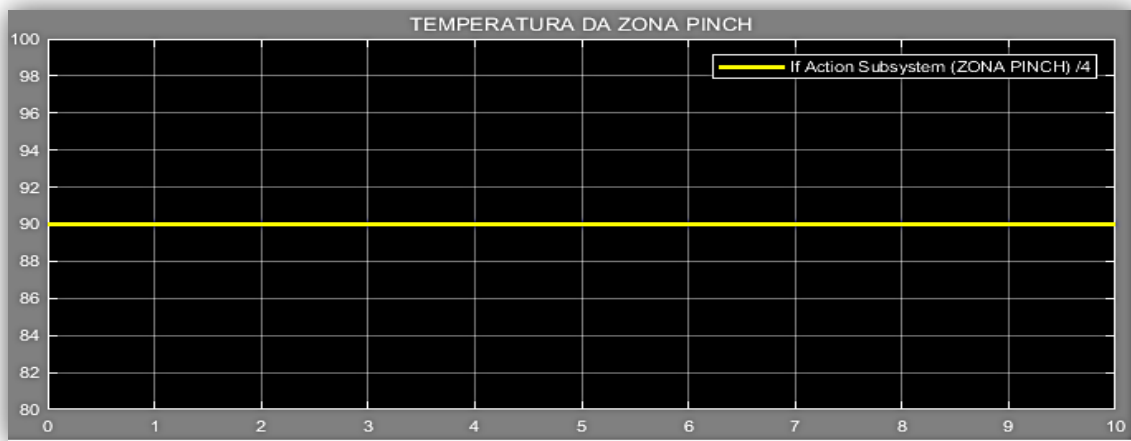


Fonte: Autores, 2020.

A Figura 13 mostra os resultados finais obtidos no Simulink, bem como o julgamento dos resultados encontrados na função da Figura 11. Os resultados são julgados através da função Switch, que oferece uma condicional com resultados diferentes para caso seja satisfeita ou não. As condições estabelecidas para função switch são as mesmas utilizadas para o algoritmo do Matlab para o cálculo do número de trocadores de calor acima do ponto Pinch. Como esperado, os resultados obtidos por estes blocos foram de 5 trocadores acima do ponto Pinch, 3 trocadores abaixo do ponto Pinch e conseqüentemente 8 trocadores para a rede em questão. O valor energético das utilidades quentes foi de 100 kW e de utilidades frias foi de 50 kW (Figura 14).



Figura 14. Gráfico gerado a partir do bloco ZONA PINCH.



Fonte: Autores, 2020.

A Figura 14 corresponde a o gráfico que mostra a temperatura Pinch, sendo esta temperatura de 90°C. Como esperado este valor é o mesmo encontrado pelo algoritmo do Matlab, visto que ambos utilizam a mesma condição para obtenção de temperatura.

Com os resultados obtidos pelo Simulink, foram os mesmo da resolução tradicional e do algoritmo desenvolvido no Matlab, entende-se que o programa em linguagem de blocos este validado para o uso do mesmo nesta rede de vapor.

4. CONCLUSÃO

Os algoritmos desenvolvidos neste trabalho apresentaram os mesmos valores da resolução tradicional de Marques (2018), sendo desta forma ambos validados. Destaca-se ainda que o uso da linguagem de blocos no Simulink proporcionou que os resultados numéricos encontrados pelo algoritmo do Matlab, fossem apresentados de forma mais gráfica (blocos e Scope).

Ambos os algoritmos apesar de encontraram resultados para uma rede específica, são relevantes para a aplicação computacional da tecnologia Pinch. Tal afirmação é fundamentada no fato que durante a revisão bibliográfica foram encontrados trabalhos que utilizavam a tecnologia Pinch de forma energética como Deveque (2019) porém este não aborda a aplicação da tecnologia a fim de se desenvolver ou propor um algoritmo para resolução da mesma. Ressalta-se que no trabalho foi utilizado softwares de auxílio para obtenção dos dados que seriam utilizados na aplicação Pinch. Apesar de trabalhos como Roque (2000) e Módenes (1995) terem desenvolvido softwares próprios para simulação da aplicação, destaca-se que a abordagem deste trabalho foi feita em outra linguagem (Matlab) e teve um objetivo diferente dos trabalhos citados, visto que aqui o objetivo foi apenas validar algoritmos para resolução de uma determinada rede de trocadores de calor, mostrando que para essa determinada situação eles obtiveram os mesmos resultados da resolução tradicional.

Espera-se que a partir deste trabalho novas abordagens computacionais possam ser feitas, podendo trabalhar com mais dados e situações mais abrangentes como dimensionamento da área de troca, redes de vapores integradas, custo financeiro entre outros. Além de se tornarem cada vez mais independentes e flexíveis podendo ser usados métodos como fuzzy e redes neurais para resoluções mais complexas e com linguagens diferentes como C++ e Python.



5. REFERENCIAS

- Arrotéia, D. R. (2019). Aplicação da metodologia Pinch em uma planta de tratamento de gordura. *Centro Universitário FEI*. <https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/3039/1/fulltext.pdf>
- Deveque, R. (2019). Aplicação da metodologia Pinch de integração energética em um processo de síntese da amônia. Trabalho de Conclusão de Curso. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*. <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12502>
- Guimarães, E. E. X. F. (2019). Otimização energética não paramétrica de uma planta de biodiesel via tecnologia Pinch. *Universidade Federal do Maranhão (UFMA)*. <https://rosario.ufma.br/jspui/handle/123456789/4330>
- Hohmann, E. C. J. (1971). Optimum network for heat exchange. PhD Dissertation – University of Southern California, Los Angeles, CA <https://www.proquest.com/openview/9df67d6f157aba5c0e6f68106665f34b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Jalalyvand, A. R., Roushani, M., Goicoechea, H. C., Rutledge, D. N., & Gu, H. W. (2019). MATLAB in electrochemistry: A review. *Talanta*, 194, 205-225. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.10.041>
- Linnhoff, B. (1983). User guide on process integration for the efficient use of energy. *AIChE J.*, v. 28. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10003395547/>
- Marques, J. A. (2018). Integração de Processo Utilizando a Tecnologia PINCH. *Universidade Católica de Pernambuco*. https://drive.google.com/file/d/1H4L2JXhvbZ_vxrak8CVgWb1JHrc3yAKC/view
- Módenes, A. N. (1995). Síntese de redes de trocadores de calor flexíveis. Dissertação de Mestrado. *Universidade Estadual de Maringá*. <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3828/1/000079904.pdf>
- Olsen, D., Abdelouadoud, Y., Liem, P., & Wellig, B. (2017). The role of Pinch analysis for industrial ORC integration. *Energy Procedia*, 129, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.193>
- Palú, F. (1995). Otimização da distribuição de área em redes de trocadores de calor. Dissertação de Mestrado. *Universidade Estadual de Maringá*. <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3792>
- Roque, M. C. (2000). Desenvolvimento de software para a síntese de rede de trocadores de calor considerando projeto detalhado e a flexibilidade do sistema. *Universidade Estadual de Campinas*. <https://1library.org/document/zw0kp8vy-desenvolvimento-software-trocadores-considerando-projeto-detalhado-flexibilidade-sistema.html>
- Tomita, T., Ishii, D., Murakami, T., Takeuchi, S., & Aoki, T. (2019). A scalable Monte-Carlo test-case generation tool for large and complex simulink models. In: 2019 IEEE/ACM 11th International Workshop on Modelling in Software Engineering (MiSE). *IEEE*, p. 39-46. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8876967>
-

