

# CONIC SEMESP

## 15º Congresso Nacional de Iniciação Científica

**TÍTULO:** INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DE ALIMENTAÇÃO NO AQUECIMENTO DE ÁGUA EM TANQUE COM IMPULSOR MECÂNICO E SERPENTINA HELICOIDAL.

**CATEGORIA:** CONCLUÍDO

**ÁREA:** ENGENHARIAS E ARQUITETURA

**SUBÁREA:** ENGENHARIAS

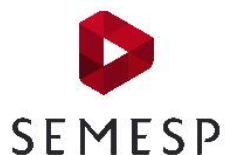
**INSTITUIÇÃO:** UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

**AUTOR(ES):** MARCELLA DE BARROS LOPES

**ORIENTADOR(ES):** DEOVALDO DE MORAES JÚNIOR, VITOR DA SILVA ROSA

**COLABORADOR(ES):** ALINE APARECIDA DE JESUS

Realização:



Apoio:



## 1) Resumo

O projeto de uma serpentina helicoidal para um dado impulsor e geometria do tanque envolve a determinação do coeficiente global de transmissão de calor, o qual é função dos coeficientes interno e externo de convecção. Entretanto, a literatura não apresenta uma relação entre a posição de alimentação do fluido no tanque em relação a sua saída, de tal forma, a evitar a formação de canais preferenciais e zonas mortas, o que acarretaria uma diminuição na eficiência do aquecimento ou resfriamento. Logo, o presente trabalho teve por objetivo estudar a influência da posição de alimentação do fluido no tanque com o uso de um impulsor axial e uma serpentina helicoidal. Foram escolhidas três posições para a alimentação de fluido ao tanque: a) alimentação oposta a saída, b) alimentação no impulsor mecânico ou no centro e c) alimentação sobre a saída, ressaltando que todas essas posições foram em relação ao nível de líquido no tanque. Cada posição foi estudada com 5 condições de rotações (0, 100, 200, 300, 400 e 500 rpm), sendo que a vazão e temperatura de entrada e saída do fluido frio e quente foram mantidas constantes em todos os experimentos. Como resposta do estudo, foi analisada a variação do coeficiente global de transmissão de calor ( $U$ ) em função das rotações e por sua vez em relação as posições de alimentação. Verificou-se que no regime permanente, para uma rotação de 200 rpm (comumente utilizada nas indústrias) que a alimentação sobre a saída apresentou uma eficiência na transmissão de calor de 31% em relação a alimentação no impulsor mecânico e de 16% em relação a alimentação oposta a saída.

**Palavras-chave:** Tanque; Impulsor axial; Serpentina Helicoidal; Coeficiente global de transferência de calor.

## 2) Introdução

Diversos processos que envolvem agitação e a mistura, necessitam de aquecimento ou resfriamento dos fluidos. Quando esses processos ocorrem em tanques, são utilizadas superfícies de transmissão de calor, dentre as quais pode-se destacar as jaquetas e as serpentinas helicoidais (Rosa et. al. 2013).

As jaquetas são superfícies de transferência de calor caracterizadas por envolver o tanque, sendo que o fluido térmico percorre o espaço entre a jaqueta e o tanque. Nesses equipamentos, a eficácia da transmissão de calor é baixa devido à fonte de calor estar na parede, o que causa um aquecimento desigual no fluido contido no tanque, além dos problemas estruturais em unidades com grandes dimensões. Por outro lado, as vantagens desse sistema são a facilidade na limpeza e a disponibilidade de dados de projeto fornecidos na literatura corrente (Goldstein et. al., 2001).

As serpentinas helicoidais são formadas por tubos entre o eixo do impulsor e a parede do tanque. A área de contato com o fluido a ser aquecido ou resfriado é muito maior que nas jaquetas, o que aumenta a eficiência na transmissão de calor; entretanto, a dificuldade está na limpeza do equipamento. A maioria dos tanques com agitação, envolvendo operações de transferência de calor, são projetados com serpentina helicoidal em função de dados de projeto serem de fácil disponibilidade (Dias et. al., 2012).

As três superfícies de transmissão de calor supracitadas necessitam de chicanas junto à parede do tanque para evitar a formação do vórtice, caracterizado por um afunilamento do fluido em agitação ao redor do impulsor mecânico. O vórtice é um indicador de uma ineficiente mistura e baixa transmissão de calor (Rosa et. al. 2014).

Entretanto, a literatura não fornece informações acerca da localização da posição de alimentação de fluido ao tanque, sendo que este parâmetro pode influenciar de forma significativa (positivamente ou negativamente) a transferência de calor, devido a presença de canais preferenciais ou zonas mortas.

### 3) Objetivo

O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência da posição de alimentação do fluido no tanque com o uso de um impulsor axial e uma serpentina helicoidal no aquecimento de água em um tanque com capacidade de 50 litros.

### 4) Metodologia

A unidade experimental utilizada nos experimentos consistiu basicamente em um tanque de acrílico com volume útil de 50 litros, uma serpentina helicoidal de cobre, um impulsor mecânico axial com 4 pás inclinadas a  $45^\circ$  e um banho ultratermostatizado. A Figura 1 contempla uma foto da unidade experimental, a qual está localizada no laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, em Santos. Na Figura 2 está apresentada a serpentina helicoidal no interior do tanque.



Figura 1 – Unidade experimental

A substância utilizada como fluido frio foi a água submetida a uma de entrada constante em  $32^\circ\text{C}$ , onde foi alocada no tanque. Como fluido quente, utilizou-se água com temperatura de entrada constante em  $63^\circ\text{C}$ , sendo que a mesma percolou o interior da serpentina helicoidal.



Figura 2 – Serpentina helicoidal

As rotações utilizadas nos experimentos foram no intervalo de 0 rpm à 500 rpm, sendo que cada rotação foi variada em 100 rpm. A alimentação do fluido frio ao tanque foi feita de três maneiras distintas: (a) alimentação oposta a saída, (b) alimentação sobre o impulsor mecânico e (c) alimentação sobre à saída. A Figura 3 apresenta um esquema da unidade experimental ilustrando os três pontos da alimentação do fluido frio ao tanque.

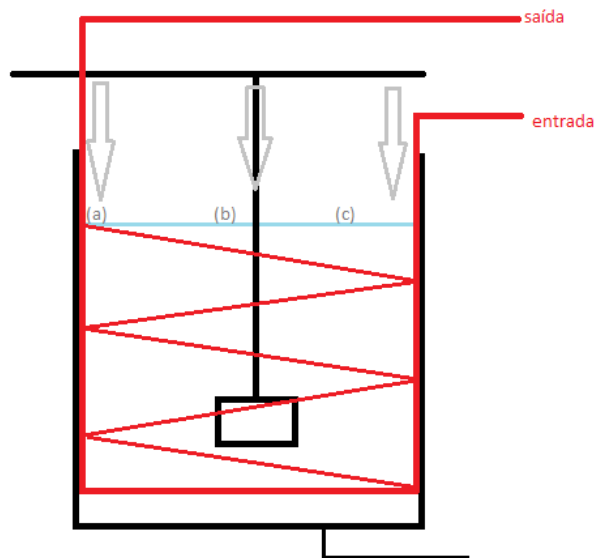


Figura 3 – Esquema da unidade experimental com os três pontos de alimentação

Foram realizados 5 experimentos em função de cada posição de alimentação do fluido frio ao tanque, ou seja, no total foram realizados 15 experimentos na unidade experimental. Todos os experimentos tiveram um tempo de duração de 70 minutos, com medições da temperatura de saída do fluido frio a cada 2 minutos, visando obter o processo em regime permanente.

## 5) Desenvolvimento

A influência da posição de alimentação do fluido frio no tanque na transferência de calor foi quantificada através do coeficiente global de transmissão de calor ( $U$ ), o qual é calculado conforme apresentado na Equação 1.

$$U = Q_r / A \cdot \text{MLDT} \quad (1)$$

Em que  $Q_r$  é o fluxo de calor recebido pelo fluido frio,  $A$  é a área de troca térmica da serpentina helicoidal e o MLDT é a média logarítmica das diferenças de temperatura dos terminais frio e quente.

O fluxo de calor  $Q_r$  foi calculado no regime permanente energético como ilustrado na Equação (2).

$$Q_r = \dot{m}_f \cdot C_{p_f} \cdot (t_1 - t) \quad (2)$$

Sendo  $\dot{m}_f$  a vazão mássica do fluido frio,  $C_{p_f}$  é o calor específico do fluido frio,  $t_1$  é a temperatura de entrada do fluido frio e  $t$  é a temperatura de saída do fluido frio.

O tanque por ser feito de acrílico possuía uma baixa perda de calor para o ambiente externo, dessa forma, considerou-se o sistema como adiabático, logo, o fluxo de calor fornecido ( $Q_f$ ) corresponde ao fluxo de calor recebido.

A Equação 3 apresenta o cálculo da temperatura de saída do fluido quente ( $T$ ) necessária para a determinação do MLDT.

$$T = T_1 - Q_f / \dot{m}_q C_{p_q} \quad (3)$$

Em que  $T_1$  é a temperatura de entrada do fluido quente,  $\dot{m}_q$  é a vazão mássica do fluido quente e  $C_{p_q}$  é o calor específico do fluido quente.

A área de transferência de calor ( $A$ ) foi calculada através da área lateral da serpentina helicoidal, a qual possuía um formato cilíndrico.

O MLDT foi determinado a partir da Equação 4, o que é uma relação entre as diferenças de temperaturas entre os terminais quente e frio, conforme apresentados nas Equações 5 e 6.

$$\text{MLDT} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \Delta T_1 / \Delta T_2} \quad (4)$$

$$\Delta T_1 = T_1 - t \quad (5)$$

$$\Delta T_2 = T - t_1 \quad (6)$$

## 6) Resultados

Inicialmente foram determinados os tempos para o início do regime permanente em cada condição estudada. A Figura 4 apresenta as temperaturas do fluido frio em função do tempo para cada rotação utilizada, com o fluido frio sendo alimentado de forma oposta a saída no tanque. Analogamente, as Figuras 5 e 6 apresentam as temperaturas de saída do fluido frio para a alimentação no impulsor mecânico e a alimentação sobre a saída, respectivamente.

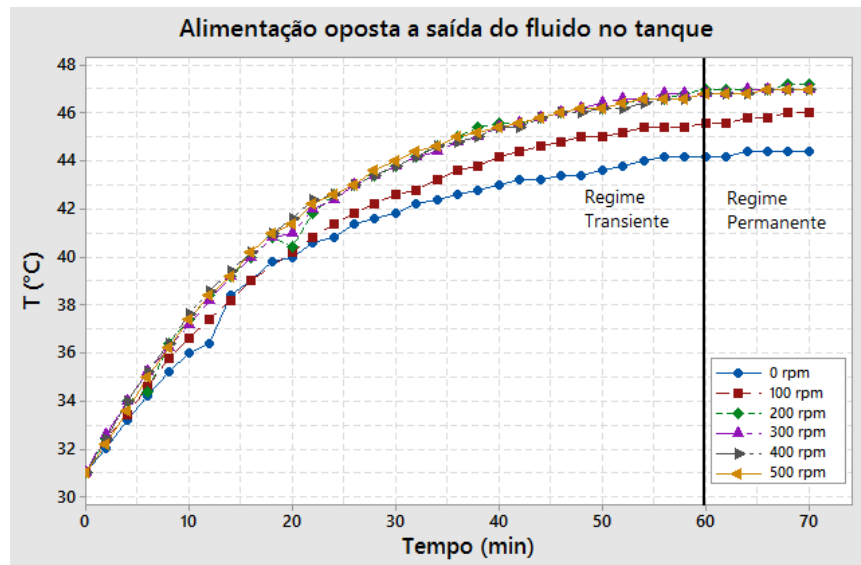


Figura 4 – Temperaturas de saída do fluido frio com a alimentação oposta a saída.

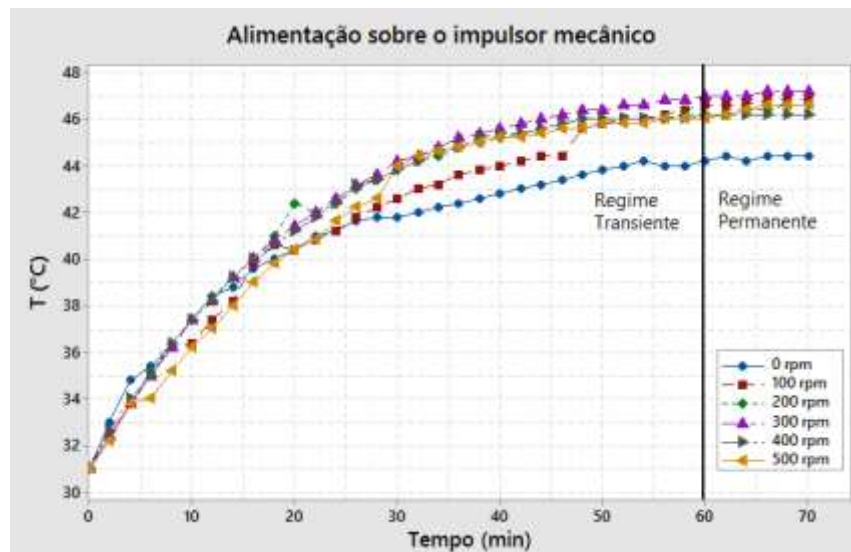


Figura 5 – Temperaturas de saída do fluido frio com a alimentação sobre o impulsor.

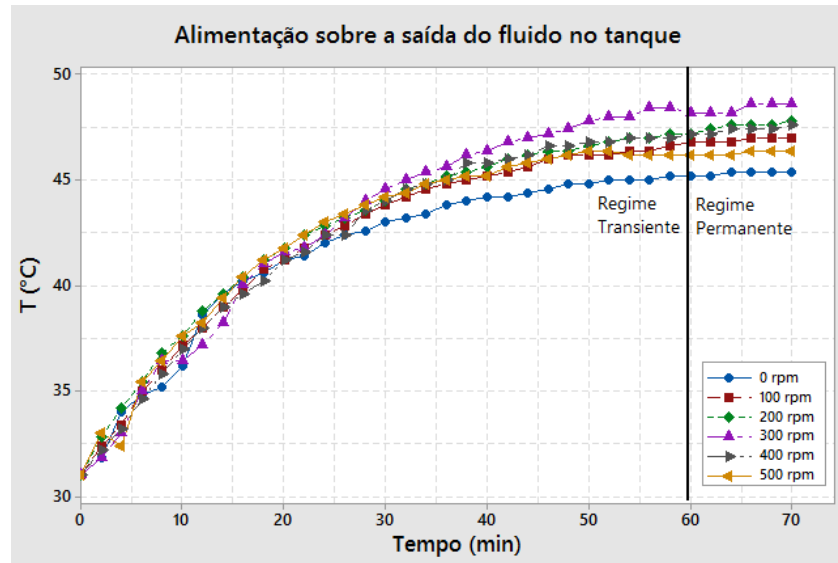


Figura 6 – Temperaturas de saída do fluido frio com a alimentação sobre a saída.

Pode-se notar nas Figuras 3, 4 e 5 que o regime permanente de temperaturas foi alcançado com um tempo de 60 minutos em todas as condições experimentais. Com a temperatura de saída do fluido frio no regime permanente, foram calculados os seguintes parâmetros: temperatura de saída do fluido quente, fluxo de calor, média logarítmica das diferenças de temperaturas (MLDT) e os coeficientes globais de transferência de calor. Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos parâmetros supracitados.

Tabela 1 – Parâmetros obtidos e calculados.

	N (rpm)	t (°C)	Q (W)	T (°C)	LMTD (°C)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Alimentação oposta a saída	0	44,2	937,99	53,24	13,33	319,80
	100	45,6	1037,48	52,21	11,15	423,05
	200	47,0	1136,96	51,17	8,80	587,21
	300	46,8	1122,75	51,32	9,15	557,66
	400	46,8	1122,75	51,32	9,15	557,66
	500	46,8	1122,75	51,32	9,15	557,66
Alimentação no impulsor	0	44,2	937,99	53,24	13,33	319,80
	100	46,6	1108,54	51,47	9,50	530,64
	200	46,2	1080,11	51,77	10,17	482,82
	300	47,0	1136,96	51,17	8,80	587,21
	400	46,2	1080,11	51,77	10,17	482,82
	500	46,0	1065,90	51,91	10,50	461,50
Alimentação sobre a saída	0	45,2	1009,05	52,50	11,78	389,25
	100	46,8	1122,75	51,32	9,15	557,66
	200	47,2	1151,17	51,03	8,44	619,74
	300	48,2	1222,23	50,29	6,49	856,05
	400	47,2	1151,17	51,03	8,44	619,74
	500	46,2	1080,11	51,77	10,17	482,82



A Figura 7 apresenta um gráfico do coeficiente global de transmissão de calor em função das rotações e para cada posição de alimentação do fluido frio ao tanque.

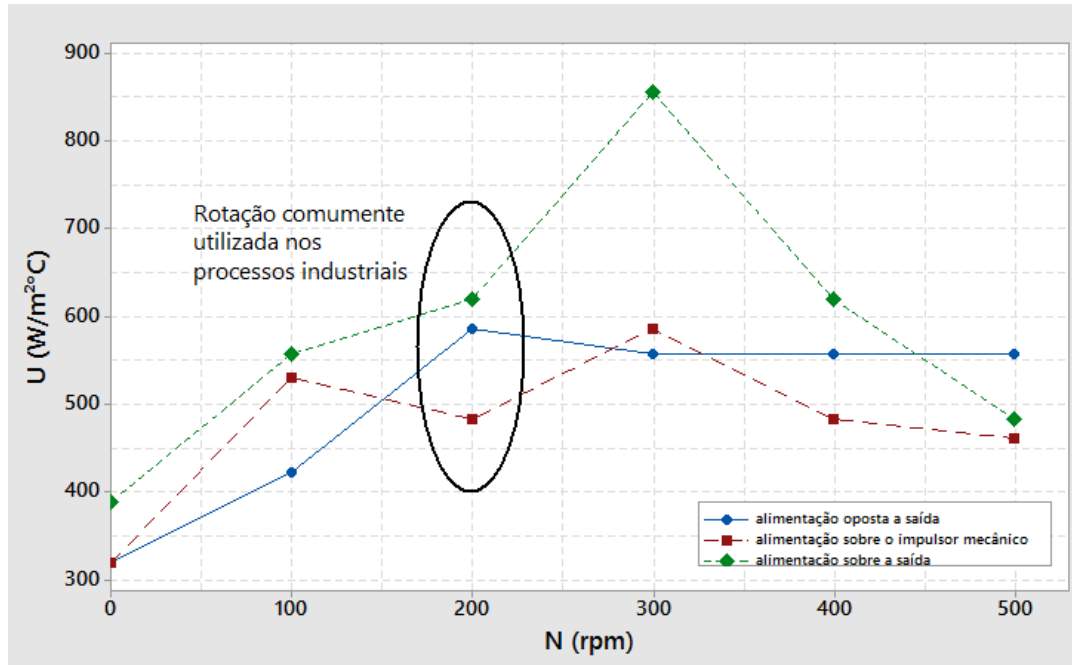


Figura 7 – Coeficiente global de transferência de calor em função da rotação e da posição de alimentação

A partir da Figura 7 verificou-se que para a rotação de 200 rpm (rotação comumente utilizada em processos de agitação industrial), alimentando-se o fluido frio sobre a saída, foram alcançados os maiores valores para o coeficiente global de transferência de calor.

## 7) Considerações finais

A posição de alimentação do fluido frio ao tanque influenciou de forma significativa a transmissão de calor nas condições estudadas. Nas rotações iniciais, compreendendo de 0 rpm a 200 rpm, não houve praticamente uma diferença significativa quando a alimentação era sobre o impulsor mecânico e sobre a saída.

Para as rotações acima de 200 rpm, a alimentação sobre a saída ofereceu os maiores valores do coeficiente global de transmissão de calor, sendo que para a alimentação oposta à saída, essa permaneceu constante nas rotações superiores.

Na rotação comumente utilizada nos processos industriais (200 rpm), o melhor desempenho foi alcançado com a alimentação do fluido frio sobre a saída, a qual apresentou uma eficiência de 31% em relação a alimentação no impulsor mecânico e de 16% em relação a alimentação oposta a saída.

## 8) Fontes consultadas

Goldstein, R. J., Eckert, E. R. G., Ibele, W. E., Patankar, T. W., Simon, T. H., KUEHN, P. J., STRYKOWSKI, K. K., TAMMA, A., BAR-COHEN, J. V. R., Heberlein, J. H., Bischof, F. A., Kulacki, U., Kortshagen, S. G., Heat Transfer – a review of 1999 literature. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 44, p.3579-3699, 2001;

Dias, M. D., Moino, C. A. A., Santos, A. R., Roseno, K. T. C., Rosa, V. S., Moraes Júnior, D., Comparação experimental da troca térmica por serpentina helicoidal em tanques com impelidores mecânicos tipo radial e axial, **Science and Technology**, 1, p. 33-38, 2012;

Rosa, V. S., Souza Pinto, T. C., Santos, A. R., Moino, C. A. A., Roseno, K. T. C., Lia, L. R. B., Tambourgi, E. B., Dias, M. L., Toneli, J. T. C. L., Moraes Júnior, D., External Coefficient of Heat Transfer by Convection in Mixed Vessels Using Vertical Tube Baffles, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 52, p. 2434-2438, 2013;

Rosa, V. S., Moraes, M. S., Toneli, J. T. C. L., Moraes Júnior, D., External Heat Transfer Coefficient in Agitated Vessels Using a Radial Impeller and Vertical Tube Baffles, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 53, p. 13797-13803, 2014.