SISPRED 2023
XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
BOAS PRÁTICAS, INOVAÇÃO, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE
19 E 20 DE OUTUBRO DE 2023 - JOINVILLE - SC

DECAIMENTO DE TEMPERATURA EM TUBOS DE PPR EMBUTIDOS EM ALVENARIA DE TIJOLOS CERÂMICOS

Temperature decay in PPR pipes embedded in ceramic brick masonry

Takashi Uehara [1]; Armando Traini Ferreira[2]

Recebido em 25 de abril de 2023, aprovado em 05 de julho de 2023, publicado em 19 de outubro de 2023

RESUMO: No transporte de água quente em uma tubulação ocorre perda de energia em forma de calor para o ambiente, com consequente decaimento de temperatura da água. O tubo de polipropileno copolímero random (PPR) é uma das opções disponíveis no mercado para uso em sistemas prediais de água quente, pois possui propriedades que conferem alta resistência à temperatura e baixa perda térmica. No entanto, os manuais técnicos destes tubos não disponibilizam informações sobre essa perda para diferentes velocidades de escoamento e formas de instalação. Dessa forma, esse trabalho visa determinar o decaimento de temperatura em tubos de PPR embutidos em alvenaria para diferentes diâmetros e velocidades, com um modelo teórico fundamentado na literatura sobre transferência de calor e simulações computacionais no software Ansys®. Os resultados dos dois métodos apresentaram diferenças pequenas, sendo o maior valor igual a 0,0119% para o tubo DN20 com velocidade de 0,5 m s^{-1}. Assim, as formulações utilizadas no modelo podem ser utilizadas no dimensionamento de sistemas prediais de água quente, podendo-se alterar diferentes parâmetros de acordo com as características da instalação.

Palavras-chave:
Polipropileno copolímero random
Decaimento de temperatura
Água quente

ABSTRACT: In the transport of hot water in a pipeline, there is a loss of energy in the form of heat to the environment, with a consequent drop in water temperature. Polypropylene random copolymer (PPR) pipe is one of the options available on the market for use in building hot water systems, as it has properties that provide high temperature resistance and low thermal loss. However, the technical manuals for these pipes do not provide information on this loss for different flow rates and installation methods. Thus, this work aims to determine the temperature decay in PPR pipes embedded in masonry for different diameters and speeds, with a theoretical model based on the literature on heat transfer and computational simulations in the Ansys® software. The results of the two methods showed small differences, with the highest value equal to 0.0119% for the DN20 tube with a velocity of 0.5 m s^{-1}. Thus, the formulations used in the model can be used in the design of building hot water systems, with the possibility of changing different parameters according to the characteristics of the installation.

Keywords:
Polypropylene random copolymer
Temperature decay
Hot water

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **UEHARA, Takashi**: Graduando de Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo. takashi.u@aluno.ifsp.edu.br.

[2] **FERREIRA, Armando Traini**: Engenheiro Civil, Doutor, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo. traini@ifsp.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Um dos desafios da engenharia é a apresentação de projetos eficientes e sustentáveis, que racionalizem o uso dos recursos naturais e causem o menor impacto sobre o meio ambiente. A disponibilidade de água quente para o uso hidrossanitário é considerada uma necessidade básica (BORGES, 2000). Segundo Chaguri Junior (2009), o volume de água consumida exclusivamente para banho pode representar aproximadamente de 6% a 12% do consumo total no Brasil, e os sistemas prediais de água quente são responsáveis por uma parcela significativa no consumo de energia do país, justificando a importância de instalações dimensionadas de modo a otimizar o consumo.

No transporte de água quente em uma tubulação, há diferença de temperatura entre a água e o ambiente, ocasionando transferência de calor entre esses meios e consequentemente o decaimento de temperatura do fluido interno. Para evitar a necessidade do aumento de consumo de energia necessária para alcançar temperaturas confortáveis para o uso da água, a perda térmica deve ser pequena, o que é possível com sistemas formados por tubulações de materiais apropriados, tais como o polipropileno copolímero random (PPR), um material plástico que possui baixa condutividade térmica, o que o classifica como um isolante térmico (TIGRE, 2012).

De acordo com a norma NBR 5626 (ABNT, 2020), as perdas térmicas devem ser estimadas pelos projetistas em função dos materiais utilizados e das condições de instalação e operação do sistema. Porém, os manuais técnicos dos fabricantes do tubo de PPR, geralmente, apresentam dados de perda de energia térmica nas tubulações obtidas por meio de formulações simplificadas, que não consideram os diferentes modos de transferência de calor, tampouco a variação de parâmetros importantes do sistema de água quente, como a vazão e a forma de instalação da tubulação. Não obstante, há escassez de estudos para determinar métodos de cálculos mais rigorosos.

Neste contexto, constatou-se a necessidade da realização de um estudo para determinar o decaimento de temperatura no transporte de água quente em tubulações de PPR embutidas em alvenaria, considerando diferentes modos de transferência de calor para melhor representação da realidade.

2 OBJETIVO

O presente trabalho visa determinar o decaimento de temperatura no transporte de água quente em tubulações de PPR embutidas em alvenaria para diferentes valores de diâmetro e velocidade de escoamento.

3 FUNDAMENTAÇÃO

3.1 Polipropileno copolímero random

O polipropileno copolímero random (PPR) é uma matéria-prima proveniente do petróleo usada para fabricação de tubos e conexões, podendo ser usada tanto em sistemas prediais de água quente como em sistemas prediais de água fria (BOTELHO e RIBEIRO JUNIOR, 2014). Os tubos e as conexões de PPR são ligados por meio do processo de termofusão, onde as peças são aquecidas em um termofusor e se fundem molecularmente a uma temperatura próxima de 260 °C, resultando em uma união com praticamente total estanqueidade (AMANCO, 2010).

Os tubos de PPR são especificados pela norma NBR 15813-1 (ABNT, 2018), que estabelece diâmetros nominais de 20 mm a 160 mm e três classes de pressão: PN 25, PN 20 e PN 12,5, sendo este último exclusivo para uso com água fria (BENEDICTO, 2009). Os tubos para uso com água quente suportam temperaturas de projeto de até 70 °C, e a temperatura máxima permitida é de 80 °C (ABNT, 2018).

3.2 Transferência de calor

Segundo Borgnakke e Sonntag (2018), o calor é definido como a transferência de energia através da fronteira de um sistema, em uma dada temperatura, para outro, com temperatura inferior. Sempre que há diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes há transferência de calor (INCROPERA *et al.*, 2008).

A primeira lei da termodinâmica diz que a energia total de um sistema é conservada. Considerando-se um sistema em condições de regime estacionário, com fluido entrando e saindo a temperaturas diferentes, a equação da energia térmica pode ser expressa pela Equação 1 (BORGNAKKE e SONNTAG, 2018).

$$q = -\dot{m} c_p (T_{sai} - T_{ent}) \quad \text{(Eq. 1)}$$

sendo:
q, a saída de energia térmica do fluido (W);
$\dot{m}$, a vazão mássica de fluido que entra no sistema (kg s^{-1});
c_p, o calor específico a pressão constante do fluido (J kg^{-1} K^{-1});
T_{sai}, a temperatura do fluido na saída do escoamento (K);
T_{ent}, a temperatura do fluido na entrada do escoamento (K).

Há três modos de transferência de calor em um meio ou entre meios: condução, convecção e radiação. A condução ocorre através de um meio estacionário sólido ou fluido com gradiente de temperatura. A convecção é a transferência de calor entre uma superfície e um fluido em movimento, estando os dois meios em diferentes temperaturas. A radiação ocorre entre superfícies a diferentes temperaturas devido à emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas (INCROPERA *et al.*, 2008).

Em problemas que envolvem transferência de calor, é comum a consideração de uma resistência térmica, que pode ser definida como a razão entre uma diferença de temperatura e a correspondente taxa de transferência, conforme a Equação 2 (MORAN *et al.*, 2005).

$$R = \frac{\Delta T}{q} \quad \text{(Eq. 2)}$$

sendo:
R, a resistência térmica (K W^{-1});
ΔT, a diferença de temperatura (K);
q, a taxa de transferência de calor (W).

4 MÉTODO

Foi definido um modelo teórico com equações para calcular o decaimento de temperatura e foram realizadas simulações computacionais, com o intuito de comparar os resultados dos dois métodos e avaliar se as formulações usadas no modelo podem ser usadas no dimensionamento de sistemas prediais de água quente.

Foi considerado um sistema em condições de regime estacionário. Essa consideração significa que o decaimento de temperatura é calculado quando a temperatura em um ponto do sistema é constante, desconsiderando o período em que há perda de calor da água para esquentar a tubulação fria.

O modelo teórico é formado por uma porção de parede de alvenaria com um trecho de tubo embutido, centralizado e envolto por um núcleo argamassa. O bloco é composto por duas placas cerâmicas, uma de cada lado da parede. O objetivo do modelo é, a partir da temperatura a montante do tubo, determinar a temperatura a jusante, que corresponde a temperatura a montante do trecho subsequente. Dessa forma, pode-se calcular o decaimento de temperatura para uma tubulação dividida em diversos trechos.

No modelo, considerou-se que ocorre convecção forçada entre a água e a superfície interna do tubo, condução unidimensional na direção radial no tubo, condução bidimensional na argamassa, condução unidimensional no bloco e convecção natural e radiação atuando em paralelo entre a superfície da parede e a vizinhança.

Para o cálculo da condução bidimensional, foi adotado o fator de forma para a situação de "cilindro circular horizontal de comprimento L no meio do caminho entre dois planos paralelos de igual comprimento e largura infinita" (INCROPERA *et al*., 2008). Para a convecção forçada, considerou-se um escoamento completamente desenvolvido (fluidodinâmica e termicamente), ou seja, o cálculo é feito considerando uma região do tubo distante do seu início, e foi utilizada a analogia de Chilton-Colburn para escoamentos turbulentos, obtida de Incropera *et al*. (2008). Para a convecção natural, foi calculado o número de Rayleigh para placas verticais e foi utilizada a correlação empírica de Churchill e Chu, obtida de Moran *et al.* (2005). Para a modelagem da radiação, considera-se que a parede está envolta em ambos os lados por uma superfície vizinha a temperatura ambiente para utilização do equacionamento apresentado por Incropera *et al*. (2008).

Substituiu-se T_{sai} por T_{i+1} e T_{ent} por T_i na Equação 1, que foi igualada à Equação 2, obtendo-se a expressão usada para determinar o decaimento de temperatura da água em um trecho de tubulação (Equação 3). Cada resistência térmica foi calculada utilizando as equações apropriadas para seu modo de transferência de calor apresentadas por Moran *et al.* (2005) e Incropera *et al*. (2008).

$$T_{i+1} = T_i - \frac{T_i - T_\infty}{\dot{m} c_p \left(R_{conv_f} + R_{cond_t} + R_{cond_m} + R_{cond_b} + R_{conv_n,rad} \right)} \quad \text{(Eq. 3)}$$

sendo:
T_{i+1}, a temperatura da água na jusante do tubo (°C);
T_i, a temperatura da água na montante do tubo (°C);
T_∞, a temperatura do ar e da vizinhança (°C);
R_{conv_f}, é a resistência térmica de convecção forçada (K W^{-1});
R_{cond_t}, é a resistência térmica condutiva do tubo (K W^{-1});
R_{cond_m}, é a resistência térmica condutiva da argamassa (K W^{-1});
R_{cond_b}, é a resistência térmica condutiva do bloco (K W^{-1});
$R_{conv_n,rad}$, é a resistência térmica equivalente de convecção natural e radiação (K W^{-1}).

Considerou-se uma faixa de parede de 20 cm de comprimento e 19 cm de largura, com sete fiadas de tijolos cerâmicos maciços de 90 x 53 x 190 mm, argamassa de assentamento de 1,5 cm e junta de 1,0 cm. O trecho escolhido é pequeno devido à limitação do software de

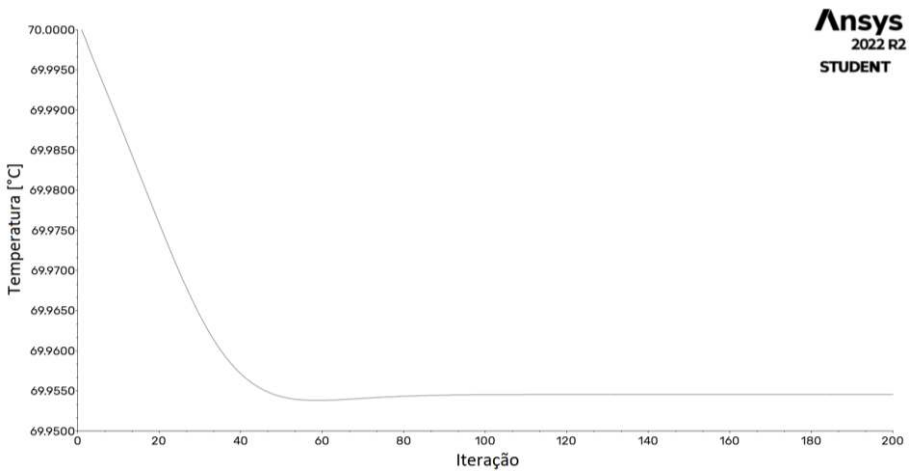
simulação utilizado, que é de 512000 células no domínio criado, o que geraria a uma malha de volumes de controle muito grosseira se a parede fosse extensa. Para a instalação da tubulação, considerou-se o tubo envolto de argamassa com cobrimento igual ao diâmetro externo. Escolheu-se a temperatura da água a montante do trecho de tubulação igual a 70 °C, a temperatura ambiente igual a 20 °C, as propriedades termofísicas do PPR constantes e obtidas de Amanco (2010) e Tigre (2012) e escoamentos com velocidades de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 e 3,0 m s^{-1}. As propriedades dos outros materiais foram obtidas no trabalho de Incropera *et al*. (2008). Os cálculos foram feitos para os diâmetros comerciais DN20 a DN50 do PPR PN 25.

As formulações do modelo teórico foram implementadas em planilha no software Microsoft Excel®. Para as simulações, foi usado o pacote Fluent da versão acadêmica do programa Ansys®, um software que utiliza a técnica de dinâmica dos fluidos computacional. Na modelagem o tubo foi posicionado a uma distância da superfície da parede igual ao diâmetro externo, diferente do modelo teórico, em que o tubo foi centralizado para atender as condições de uso do fator de forma de condução escolhido. Nas simulações, foi determinada a temperatura da água a jusante da tubulação, usando o modelo de turbulência SST do Fluent e as mesmas condições de contorno adotadas para os cálculos do modelo teórico no Excel. Foi feita uma simulação de 200 iterações para cada diâmetro e velocidade, totalizando 30 simulações e 6000 iterações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Ansys Fluent obteve-se gráficos com o valor da temperatura da água a jusante convergindo ao longo das iterações, como o mostrado na Figura 1 para o tubo DN20 e velocidade de 0,5 m s^{-1}, onde a temperatura obtida foi de 69,9545 °C.

Figura 1 – Convergência da temperatura a jusante



Fonte: Autor.

A Tabela 1 apresenta os valores da temperatura a jusante do tubo para cada diâmetro e velocidade de escoamento obtidos com o modelo teórico no Excel e as simulações no Ansys.

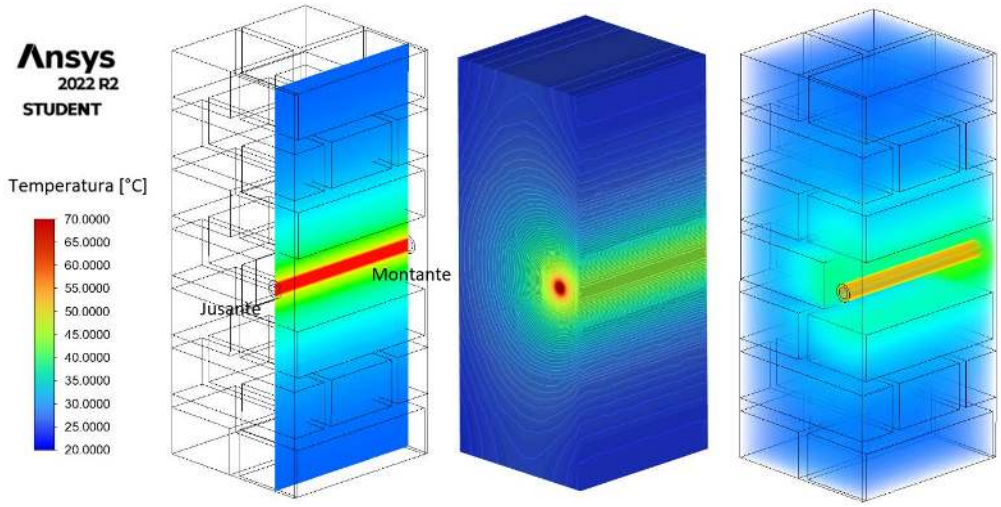
Tabela 1 – Temperatura a jusante no modelo teórico e nas simulações

Velocidade (m s^{-1})		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
DN20	Excel (°C)	69,9628	69,9813	69,9875	69,9907	69,9925	69,9938
	Ansys (°C)	69,9545	69,9777	69,9852	69,9890	69,9912	69,9927
	Diferença (%)	0,0119	0,0052	0,0034	0,0024	0,0019	0,0015
DN25	Excel (°C)	69,9750	69,9875	69,9916	69,9937	69,9950	69,9958
	Ansys (°C)	69,9683	69,9846	69,9898	69,9924	69,9940	69,9950
	Diferença (%)	0,0096	0,0041	0,0026	0,0019	0,0014	0,0012
DN32	Excel (°C)	69,9837	69,9918	69,9946	69,9959	69,9967	69,9973
	Ansys (°C)	69,9791	69,9898	69,9933	69,9950	69,9961	69,9967
	Diferença (%)	0,0066	0,0029	0,0018	0,0013	0,0009	0,0008
DN40	Excel (°C)	69,9890	69,9945	69,9963	69,9972	69,9978	69,9982
	Ansys (°C)	69,9856	69,9931	69,9955	69,9966	69,9973	69,9978
	Diferença (%)	0,0048	0,0020	0,0012	0,0009	0,0007	0,0005
DN50	Excel (°C)	69,9925	69,9962	69,9975	69,9981	69,9985	69,9987
	Ansys (°C)	69,9902	69,9953	69,9969	69,9977	69,9982	69,9985
	Diferença (%)	0,0033	0,0013	0,0008	0,0006	0,0004	0,0003

Fonte: Autor.

A Figura 2 apresenta um plano longitudinal de temperaturas passando pela tubulação, um contorno de temperaturas e uma renderização da temperatura em todo o domínio, obtidos no Ansys para o tubo DN20 e velocidade de 0,5 m s^{-1}.

Figura 2 – Temperatura no sistema após a simulação



Fonte: Autor.

Tanto na análise com o modelo teórico quanto nas simulações computacionais ocorreram maiores perdas de temperatura para os menores diâmetros e para as menores velocidades. Os resultados obtidos com o modelo teórico são bastante influenciados pelas correlações

empíricas de convecção que são adequadas para as condições do problema, porém podem apresentar imprecisões, além da simplificação feita quando se considerou o equacionamento da troca por radiação de uma superfície vizinha envolvendo a parede. Nas simulações computacionais, os resultados podem ter sido influenciados pela qualidade da malha, limitada pela capacidade da versão estudantil do software Ansys. Pela Tabela 1, as diferenças percentuais foram pequenas, sendo a maior diferença igual a 0,0119% para o tubo DN20 com velocidade de 0,5 m s^{-1}, o que mostra que o fator de forma para tubo centralizado na parede fornece resultados próximos da situação considerada na simulação. Dessa forma, as simulações mostraram que as formulações encontradas geram resultados precisos, e podem ser utilizadas para determinação do decaimento de temperatura em tubulações de PPR embutidas em alvenaria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a importância do correto dimensionamento de tubulações de água quente, o presente trabalho visa contribuir com informações sobre o cálculo do decaimento de temperatura no tubo de PPR embutido em alvenaria, os quais não são especificados nos catálogos dos fabricantes. Para isso, foi definido um modelo teórico com as formulações apropriadas e foram realizadas simulações computacionais, onde os resultados dos dois métodos apresentaram diferenças pequenas. Deste modo, as formulações para determinação da perda térmica do modelo teórico podem ser adotadas por projetistas no dimensionamento de sistemas prediais de água quente com tubulações de PPR, onde pode-se alterar as características como o comprimento, o diâmetro, a temperatura da água e a largura da parede.

REFERÊNCIAS

AMANCO. **Manual técnico**: Linha Amanco PPR. Joinville: [*s.n.*], 2010. Disponível em: http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/37/baixa_amco_atualizacao_manual_tecnico_amanco_PPR_2010_v11.pdf. Acesso em: 21 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15813-1**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria parte 1: Tubos de polipropileno copolímero random PP-R e PP-RCT – requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020. 63 p.

BENEDICTO, S. M. de O. **Desempenho de sistema predial de água quente**. 200 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

BORGES, T. P. de F. **Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água**. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Blücher, 2018. 730 p.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JUNIOR, G. de A. **Instalações hidráulicas prediais utilizando tubos plásticos**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2014. 416 p.

CHAGURI JUNIOR, J. J. **Sistemas prediais de aquecimento de água a gás**: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento. 104 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

INCROPERA, F. P. *et al*. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

MORAN, M. J. *et al*. **Introdução à engenharia de sistemas térmicos**: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 604 p.

TIGRE. PPR: Termofusão: Catálogo técnico. Joinville: [s.n.], 2012. Disponível em: https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ctppr-termofusao.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.