

ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM CHAMINÉS CILÍNDRICAS METÁLICAS RESIDENCIAIS

Jair Henrique Martins Blasius¹

Resumo

A transferência de calor é um ramo da ciência direcionado ao estudo das trocas de calor devido a um gradiente térmico inicial. Seu entendimento é primordial para que sejam determinadas as taxas de transferência de calor, a espessura da camada de isolamento e no comparativo dos sistemas de chaminés isolados e não isolados. Com isso, este trabalho tem o objetivo de estudar *in loco* a transferência de calor em chaminés residenciais, propondo modelos para a obtenção da taxa de calor e também simulando a espessura necessária de isolante térmico para minimizar a perda de calor ou diminuir a temperatura na parte externa da chaminé, proporcionando maior segurança residencial, contra incêndios e queimaduras. Para obtenção desses objetivos, foram realizadas avaliações experimentais em chaminés metálicas residenciais com visitas à campo e cálculos baseados nesses dados. Isso possibilitou simular a perda de calor em chaminés cilíndricas metálicas verticais. Por outro lado, foi possível determinar a espessura da camada de isolante necessária a cada metro de altura da chaminé para que a mesma permaneça a uma temperatura constante, controlada e segura. Por fim, o trabalho visa contribuir com a aplicação prática das teorias estudadas em transferência de calor no ramo da construção civil.

Palavras-Chave: Transferência de calor. Isolamento térmico. Chaminé.

Abstract

Heat transfer is a branch of science aimed at studying heat exchange due to an initial thermal gradient. Its understanding is essential for determining heat transfer rates, the thickness of the insulation layer and for comparing insulated and non-insulated chimney systems. Therefore, this work aims to study heat transfer in residential chimneys in situ, proposing models to obtain the heat rate and also simulating the necessary thickness of thermal insulator to minimize heat loss or reduce the temperature on the outside of the chimney, providing greater residential safety against fires and burns. To achieve these objectives, experimental evaluations were carried out on residential metal chimneys with field visits and calculations based on these data. This made it possible to simulate heat loss in vertical cylindrical metal chimneys. On the other hand, it was possible to determine the thickness of the insulating layer required for each meter of chimney height so that it remains at a constant, controlled and safe temperature. Finally, the work aims to contribute to the practical application of the theories studied in heat transfer in the construction industry.

Keywords: Heat transfer. Thermal insulation. Chimney.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: jair.m2000@aluno.ifsc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A transferência de calor é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço, isso significa que sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios, haverá, necessariamente, transferência de calor (Bergman et al., 2015).

A determinação da taxa de transferência de calor é o objetivo principal no estudo das trocas térmicas, podendo ocorrer por intermédio dos seguintes mecanismos: condução, convecção e radiação (Schmidt, Henderson, Wolgemuth, 1996). Sendo seu estudo e entendimento primordial na matriz das engenharias.

As chaminés são elementos construtivos comuns em sistemas que tratam do escoamento e direcionamento de fluidos, possuem a função básica de expelir gases provenientes da queima de combustíveis, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, por meio da tiragem. São em sua maioria produzidos com o uso de metais, devido ao baixo custo e seu maior potencial de condução térmica (Botti, 2004).

Tratando-se do âmbito residencial, esse processo de tiragem de gases por meio de chaminés pode ser evidenciado em alguns dispositivos domésticos associados aos sistemas de aquecimento, como no caso: fogões a lenha, churrasqueiras, lareiras, calefadores, salamandras, parrilla, entre diversos outros mecanismos que desempenham papéis similares (Botti, 2004).

O empirismo construtivo dessas estruturas levanta diversas preocupações relativas à sua segurança e ao seu uso, já que são capazes de induzir incêndios ou causar queimaduras. Para Dehaan (2007, p. 190-191) há o risco de emissão de faíscas ou materiais em chamas na área de queima, que podem incendiar materiais combustíveis próximos.

Por isso, algumas recomendações são fundamentais na prevenção e no combate desses incidentes, por exemplo, “deve-se tomar um cuidado especial nos locais onde há interseção do duto com o telhado, forro e/ou teto. Materiais como a madeira, quando submetidos ao calor durante longo período de tempo, sofrem uma mudança gradual na sua estrutura molecular, mediante um processo chamado pirólise.” (Silva; Giacomini, 2019, p. 7).

Segundo Dehaan (2007, p. 192), “esse tipo de incêndio é mais comum em chaminés de metal que por falta de isolamento pode chegar a temperaturas superiores

às indicadas, sendo perigoso quando próximo a materiais considerados combustíveis.” Isso ressalta e justifica a importância da inclusão e do dimensionamento correto da camada de isolamento térmico em chaminés metálicas.

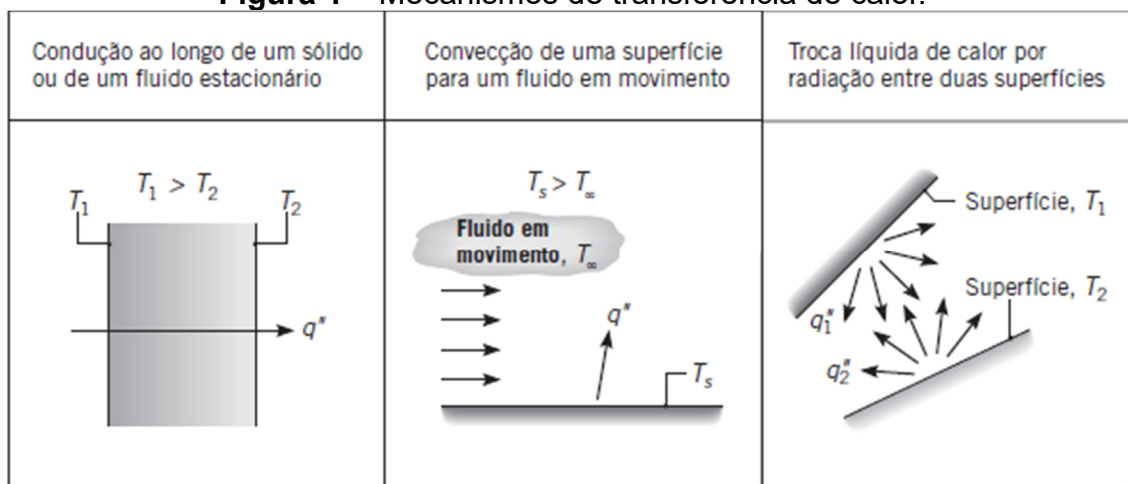
A manutenção preventiva também é de extrema importância na prevenção de incêndios, isto inclui a limpeza das chaminés, que devem ser feitas de forma periódica, pelo menos uma vez ao ano, evitando assim o acúmulo de materiais combustíveis, como fuligem, ninho de pássaros, creosoto, poeira, entre outros detritos (Dehaan, 2007).

O objetivo deste trabalho baseia-se no cálculo da transferência de calor em chaminés cilíndricas metálicas, mensurando tanto o calor transferido ao ambiente em casos de não isolamento quanto o dimensionamento de isolante térmico ao longo da altura da chaminé, para que com isso possa ser evitado danos como queimaduras e a propagação de incêndios, principalmente nas regiões de contato entre a chaminé e materiais combustíveis como no caso de forros de madeira.

1.1 Taxa de transferência de calor

O fenômeno da transferência de calor pode ser evidenciado por três diferentes mecanismos: condução, convecção e radiação, sendo que para cada um deles existe uma equação específica para se determinar a taxa de transferência de calor (Schmidt, Henderson, Wolgemuth, 1996). A figura 1 exemplifica, ilustrativamente, cada um desses mecanismos.

Figura 1 – Mecanismos de transferência de calor.



Fonte: Bergman et al., 2015

Para a condução térmica, a equação da taxa é conhecida como lei de *Fourier*. Em uma parede plana unidimensional ela pode ser expressa da seguinte maneira (Bergman et al., 2015):

$$q_{cond} = \frac{kA}{L} \Delta T \quad (1)$$

Onde: q_{cond} = taxa de transferência de calor por condução ($W/m^2.K$); k = coeficiente de condutividade térmica ($W/m.K$); A = área (m^2); L = comprimento (m); ΔT = variação térmica ($^{\circ}C$).

Para o efeito de convecção, independente da natureza do processo de transferência de calor, a equação apropriada para a taxa de transferência pode ser determinada pela lei do resfriamento de *Newton* (Bergman et al., 2015).

$$q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Onde: q_{conv} = taxa de transferência de calor por convecção ($W/m^2.K$); h = coeficiente de película ($W/m^2.K$); A = área (m^2); T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$); T_{∞} = temperatura do fluido no infinito ($^{\circ}C$).

No caso da radiação, a transferência de calor líquida, entre duas superfícies a diferentes temperaturas, pode ser determinada pela seguinte equação (Bergman et al., 2015):

$$q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (3)$$

Onde: q_{rad} = taxa de transferência de calor por radiação ($W/m^2.K$); ε = emissividade; A_s = área da superfície (m^2); σ = constante de *Stefan-Boltzmann* ($5,67.10^{-8} W/(m^2.K^4)$); T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$); T_{viz} = temperatura da vizinhança ($^{\circ}C$).

As chaminés, por sua vez, possuem geralmente formato cilíndrico, sendo portanto estudadas como sistemas radiais. Neste tipo de sistema há apenas gradientes de temperatura na direção radial, o que permite analisa-los como sistemas unidimensionais. Considerando seu regime estacionário e sem geração de calor, a taxa de transferência de calor em coordenadas cilíndricas pode ser definida pela seguinte equação (Bergman et al., 2015):

$$q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} \quad (4)$$

Onde: q_r = taxa de transferência de calor ($W/m^2.K$); L = comprimento (m); k = coeficiente de condutividade térmica ($W/m.K$); T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$); r = raio (m).

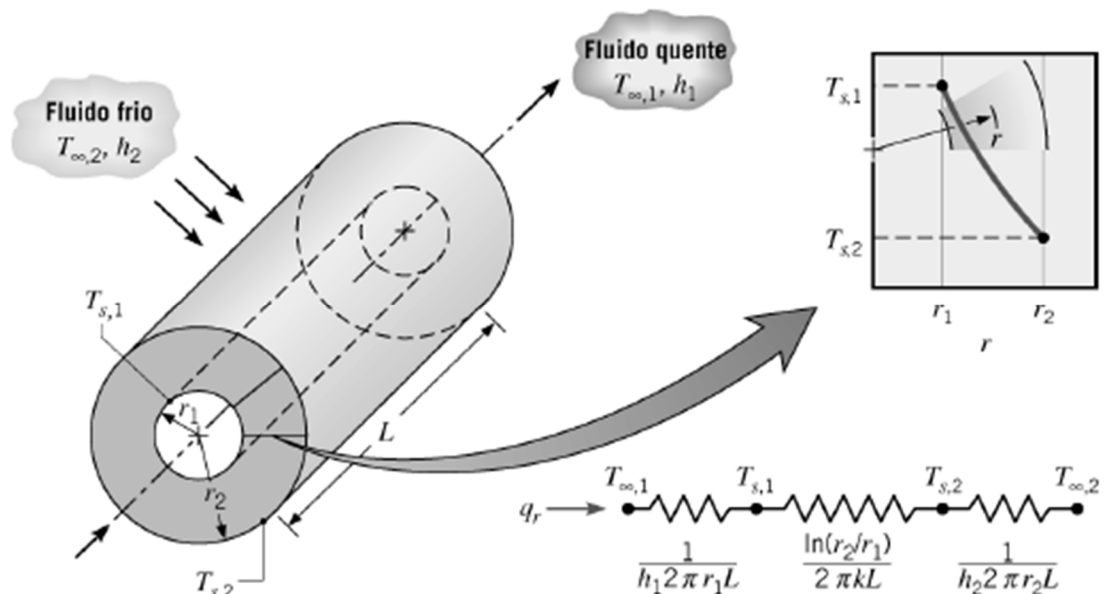
E nos casos em que as chaminés possuem algum tipo de isolamento térmico ou deseja-se descobrir a espessura de sua superfície, basta isolar a variável (r_2), da equação anterior:

$$r_2 = e^{\frac{2\pi r_1 L k (T_{s,1} - T_{s,2})}{q_r}} + \ln r_1 \quad (5)$$

Onde: q_r = taxa de transferência de calor ($W/m^2.K$); L = comprimento (m); k = coeficiente de condutividade térmica ($W/m.K$); T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$); r = raio (m); e = constante de Euler (2,71828).

Portanto, nas chaminés é possível fazermos a comparação de duas situações diferentes de transferência de calor, uma considerando a chaminé revestida com isolamento térmico e outra considerando a mesma sem isolamento térmico. Na figura 2 apresenta-se um desenho esquemático de um cilindro oco com as respectivas resistências térmicas e o processo pelo qual a energia térmica é transferida.

Figura 2 – Transferência de calor em cilindros.



Fonte: Bergman et al., 2015.

Nas chaminés sem isolamento térmico predominam os efeitos da convecção interna e externa, podendo-se desprezar a resistência térmica imposta pela chapa metálica devido a sua elevada condutividade térmica e baixa espessura, no caso

deste estudo a chapa possui 5.10^{-4} m de espessura. Nesses casos, analisando a figura 2, assume-se que $r_1 \cong r_2$ e $T_{s1} \cong T_{s2}$. Sendo assim, a taxa de transferência de calor pode ser determinada pela seguinte equação:

$$q_r = \frac{(T_{\infty,1} - T_{\infty,2})}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_2}} \quad (6)$$

Onde: q_r = taxa de transferência de calor ($W/m^2.K$); L = comprimento (m); T_{∞} = temperatura do fluido ($^{\circ}C$); r = raio (m); h = coeficiente de película ($W/m^2.K$).

Nas chaminés que possuem o isolamento térmico o calor que atravessa o isolante é o calor que, posteriormente, será transmitido ao ambiente externo. Dessa forma, assume-se ainda que $r_1 \cong r_2$ e que $T_{\infty,1} \cong T_{s1}$ e a taxa de transferência de calor pode ser escrita como:

$$q_r = \frac{(T_{s,2} - T_{\infty,2})}{\frac{1}{2\pi r_2 L h_2}} \quad (7)$$

Onde: q_r = taxa de transferência de calor ($W/m^2.K$); L = comprimento (m); T_{∞} = temperatura do fluido no infinito ($^{\circ}C$); r = raio (m); h = coeficiente de película ($W/m^2.K$); T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$).

1.2 Convecção forçada (escoamento interno)

Nas chaminés o efeito de convecção forçada ocorre no seu interior, devido o fluxo ascendente dos gases de combustão. Nesse caso, ao lidar com escoamentos internos é importante verificar a extensão da região de entrada, que depende do tipo de regime de escoamento, laminar ou turbulento. Tendo como *Reynolds* crítico aproximadamente 2300 (Bergman et al., 2015). O número de *Reynolds* para o escoamento em um tubo circular é definido como (Bergman et al., 2015):

$$Re_D = \frac{\rho u_m D}{\mu} \quad (8)$$

Onde: Re_D = número de *Reynolds*; ρ = massa específica (kg/m^3); u_m = velocidade média (m/s); D = diâmetro (m); μ = viscosidade dinâmica ($N.s/m^2$).

Ao considerar o regime do sistema laminar, através do número de *Reynolds*, em

tubos circulares. Em condições plenamente desenvolvidas com uma temperatura na superfície constante, o número de *Nusselt* é constante (Bergman et al., 2015):

$$Nu_D = 3,66 \quad (9)$$

Onde: Nu_D = número de *Nusselt*.

Desta forma com o número de *Nusselt* calculado, possibilita a determinação do coeficiente convectivo interno, expresso pela seguinte equação (Bergman et al., 2015):

$$h = Nu_D \frac{k}{D} \quad (10)$$

Onde: h = coeficiente de película ($W/m^2.K$); Nu_D = número de *Nusselt*; k = coeficiente de condutividade térmica ($W/m.K$); D = diâmetro (m).

1.3 Convecção natural

Na convecção natural não há velocidade do fluido, porém existem correntes de convecção no fluido devido às forças de empuxo. Ao considerarmos os cilindros verticais podem ser utilizadas as mesmas correlações adotadas para placas planas verticais, desde que a espessura da camada limite seja muito menor em relação ao diâmetro do cilindro (Bergman et al., 2015). Sendo assim, o número de *Rayleigh* pode ser determinado pela seguinte equação (Bergman et al., 2015):

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (11)$$

Onde: Ra_L = número de *Rayleigh*; g = aceleração gravitacional (m/s^2); $\beta = T_f^{-1}$ (K^{-1}); T_s = temperatura da superfície ($^\circ C$); T_∞ = temperatura do fluido no espaço ($^\circ C$); L = comprimento (m); ν = viscosidade cinemática (m^2/s); α = difusividade térmica (m^2/s).

Uma correlação que pode ser aplicada ao longo de todo o intervalo de *Rayleigh* foi recomendada por *Churchill*. A seguinte expressão é usada para calcular o número de *Nusselt* em casos de convecção natural em placas verticais (Bergman et al., 2015):

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0,492/Pr)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}\right\}^2 \quad (12)$$

Onde: Ra_L = número de *Rayleigh*; Pr = número de *Prandtl*; Nu_L = número de *Nusselt*.

Com a determinação do número de *Nusselt* torna-se possível a verificação do coeficiente convectivo em escoamentos de convecção natural externos através da seguinte equação (Bergman et al., 2015):

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \quad (13)$$

Onde: h = coeficiente de película ($W/m^2.K$); Nu_L = número de *Nusselt*; k = coeficiente de condutividade térmica ($W/m.K$); L = comprimento (m).

Neste caso, as propriedades do fluido devem ser coletadas na temperatura de filme, ou seja, uma média entre a temperatura da superfície e a temperatura do fluido longe da chaminé (Bergman et al., 2015):

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (14)$$

Onde: T_f = temperatura de filme ($^{\circ}C$); T_s = temperatura da superfície ($^{\circ}C$); T_∞ = temperatura do fluido no espaço ($^{\circ}C$);

2 METODOLOGIA

O método científico adotado neste trabalho foi o método hipotético-dedutivo, formulado por Karl Popper em 1975. Enquanto aos métodos de procedimento, remetem ao estudo comparativo entre objetos e suas semelhanças, baseando-se na ideologia desenvolvida por Edward Tylor, descrita por Marconi e Lakatos (2017).

O levantamento de dados inclui a pesquisa direta e indireta, evidenciada pelo estudo documental e prático, através de visita de campo e verificações laboratoriais, que se caracterizam como do tipo exploratório-descritivo com observação dos fatos de modo direto intensivo participante.

Durante a visita de campo, puderam ser coletados dados essenciais para a análise do efeito da transferência de calor em chaminés metálicos, incluindo a medição térmica do gradiente de temperatura ao longo de toda a altura da chaminé, assim como a velocidade de saída dos gases internos expelidos através da convecção forçada.

A fonte calorífica para medição desses índices foi um fogão a lenha residencial, conforme disposto na figura 3. Sua estrutura toda metálica possui na sua base superior um chaminé de aço inoxidável (AISI 304), com 0,12 m de diâmetro e 2,00 m de altura, até o forro, conforme apresentado na figura 4.

Figura 3 – Fogão a lenha residencial.



Fonte: Autor, 2025.

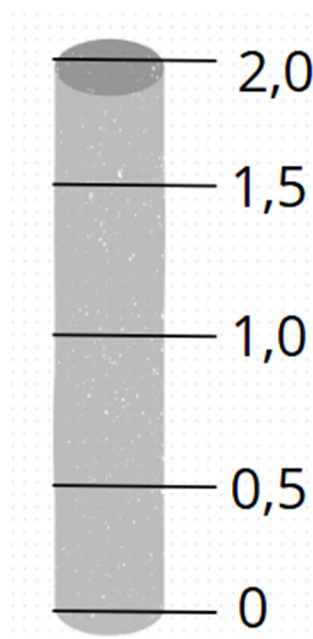
Figura 4 – Chaminé de aço inoxidável.



Fonte: Autor, 2025.

As medições da temperatura ao longo da chaminé foram feitas com o auxílio de um termômetro digital Icel TD-955. Para isso foi necessário efetuar marcações ao longo da chaminé, a fim de obter o valor experimental da temperatura da superfície externa da chaminé para cada meio metro da tubulação, conforme exemplifica a figura 5. Nesse caso, o fogão foi abastecido com lenha até que sua chaminé alcançasse uma temperatura máxima, isso ocorreu após 30 minutos do fogão aceso em estado de regime estacionário.

Figura 5 - Demarcação da altura da chaminé (m).



Fonte: Autor, 2025.

Para cada marcação feita na chaminé, conforme apresentado na figura 5, foram feitas medições da temperatura, para que pudesse ser elaborado um gráfico de variação da temperatura ao longo da altura. A medida 0 m corresponde ao ponto de contato entre a chaminé e a base do fogão a lenha, sendo portanto a região de maior temperatura. A medida que o ponto de medição distancia-se da fonte de calor, a temperatura decresce, isso pode ser verificado através da tabela 1 no qual apresenta os valores medidos a cada meio metro da chaminé. As medidas foram feitas em triplicada e o valor mostrado é a média em cada ponto.

Outra medição realizada foi a verificação da velocidade do fluido no interior da chaminé através da convecção forçada. Para isso, foi necessário o auxílio de um anemômetro digital Benetech GM816 que mediu a velocidade do fluido em (m/s).

Para que a medição pudesse ser feita com precisão foi necessário utilizar um aparato metálico no formato de um funil, com o intuito de direcionar toda a vazão de saída do fluido para o orifício de medição contido no anemômetro. Na figura 6 é ilustrado o funil utilizado no processo de medição.

Figura 6 – Funil metálico



Fonte: Autor, 2025.

Sendo assim, conhecido o valor da velocidade do fluido que passa pelo orifício é possível calcular o valor real da velocidade do fluido que atravessa a tubulação internamente, através da equação da continuidade, considerando que a massa específica do fluido é igual nos dois pontos:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (15)$$

Onde: V_1 = velocidade 1 (m/s); A_1 = área 1 (m²); V_2 = velocidade 2 (m/s); A_2 = área 2 (m²).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os valores experimentais obtidos a cada meio metro de altura da chaminé residencial.

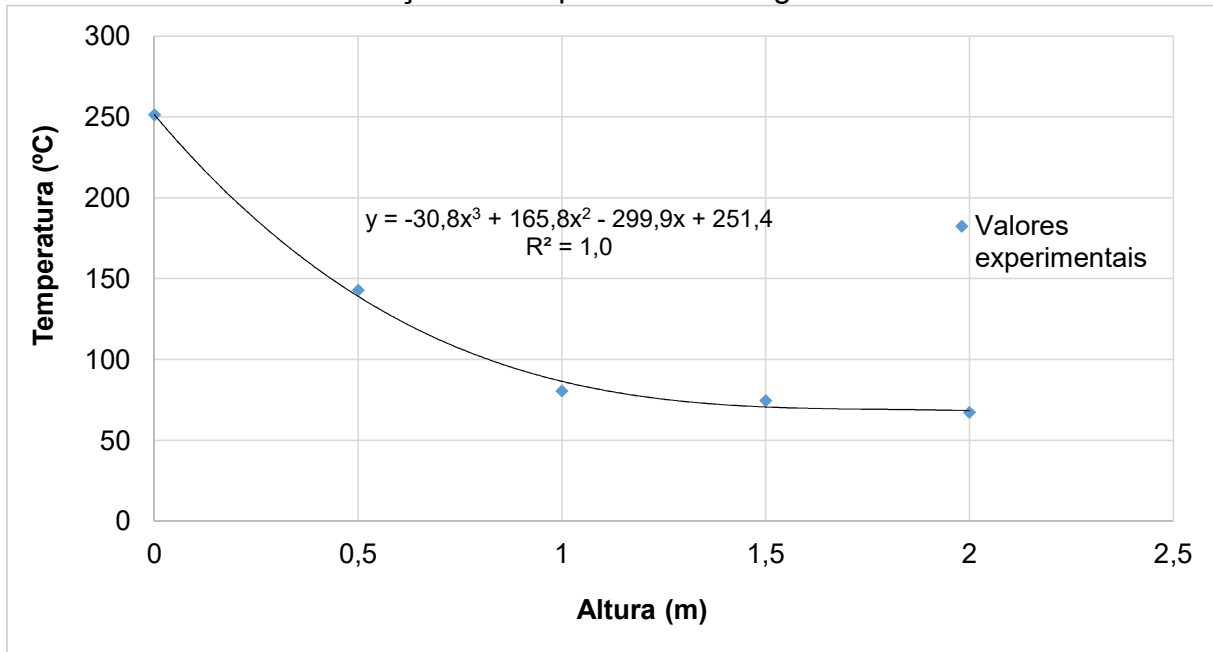
Tabela 1 – Temperaturas medidas ao longo da chaminé

Altura (m)	Temperatura (°C)
0,0	251,4
0,5	143,0
1,0	80,6
1,5	74,6
2,0	67,4

Fonte: Autor, 2025.

A partir das medições registradas na tabela 1 é possível a elaboração de um gráfico que relaciona a variação da temperatura ao longo da altura da chaminé, conforme disposto no gráfico 1.

Gráfico 1 – Variação da temperatura ao longo da altura da chaminé.



Fonte: Autor, 2025.

Sabendo que a velocidade do fluido que passou pelo orifício do anemômetro foi de 4,4 m/s e o diâmetro do orifício é de 0,025 m e o da chaminé 0,12 m, tem-se que a velocidade do fluido no interior da chaminé é de 0,191 m/s de acordo com a equação da continuidade. Aplicando este resultado na fórmula do número de *Reynolds*, temos que o fluido no interior da chaminé encontra-se no regime de escoamento laminar, já que o valor resultante foi de 1160 e segundo Bergman et al. (2015), para valores abaixo de 2300 (*Reynolds* crítico), diz-se que o fluido encontra-se no regime laminar.

Considerando as temperaturas registradas na tabela 1 e uma temperatura ambiente de 15 °C, relativo a uma temperatura aproximada nos períodos de inverno no sul do Brasil. Em chaminés sem isolamento com diâmetro de 0,12 m e material em aço inoxidável (AISI 304), com emissividade do material de 0,22 e utilizando as equações 6 e 3 é possível encontrar os valores relativos a taxa de transferência de calor por convecção natural e radiação, conforme demonstra a tabela 2.

Tabela 2 – Transferência de calor na chaminé não isolada e isolada

Altura (m)	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	
Chaminé sem isolamento						Chaminé com isolamento
Transferencia de calor por convecção (qconv) (W)	7,56	8,76	9,81	22,13	48,91	10,74
Transferencia de calor por radiação (qrad) (W)	15,39	18,15	20,58	54,64	170,77	3,64
Transferencia de calor total (qt) (W)	22,95	26,91	30,39	76,77	219,69	14,38

Fonte: Autor, 2025.

Observando a tabela 2 verifica-se uma grande influência das emissões radioativas na taxa total de calor transferido, como também nota-se que nas regiões mais altas da chaminé a taxa de transferência de calor diminui, devido a consequente diminuição da temperatura.

Já nas chaminés com isolamento térmico, assim como esperado, as taxas de transferência de calor diminuem, o que representa a eficácia do sistema de isolamento. Essa verificação pode ser feita utilizando os mesmos métodos praticados no sistema sem isolamento, porém, agora, considera-se a barreira térmica proporcionada pelo material isolante.

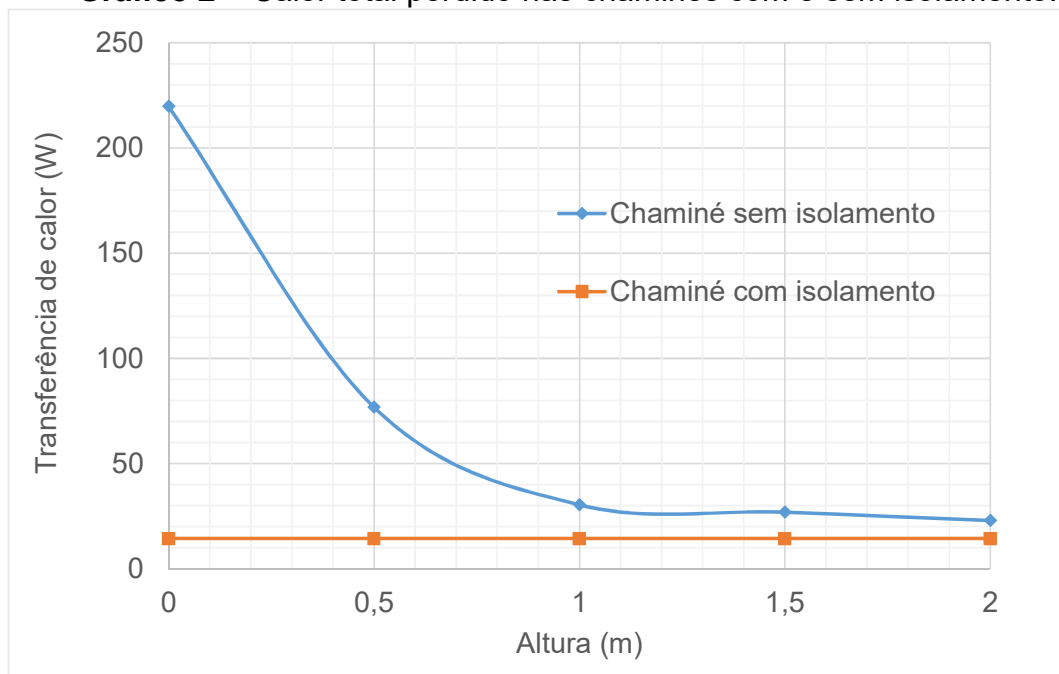
Considerando uma temperatura máxima na superfície externa, preferencialmente menor que 43 °C que corresponde ao limite de temperatura sem que haja a sensação de dor cutânea em adultos (Bourke; Bison, 2014). Deve-se, portanto, estipular uma temperatura de controle para que os cálculos possam ser realizados, sendo assim, adotou-se uma temperatura superficial constante de 30 °C ao longo de todo o comprimento da chaminé; os demais parâmetros como temperatura ambiente, diâmetro e material da chaminé permaneceram os mesmos, podendo assim encontrar o total de calor transferido ao ambiente após o isolamento, utilizando as equações 7 e 3.

Observando a taxa de calor perdido nos chaminés com isolamento, percebe-se uma diminuição significativa nas taxas de transferência de calor em relação ao sistema sem isolamento. Nota-se também que neste caso o calor transferido por convecção é maior do que o de radiação, diferentemente da situação anterior, além

disso a taxa de transferência de calor é constante em qualquer altura, devido a constância da temperatura na superfície.

Ao compararmos as duas situações de forma simultânea é possível verificar uma redução de 93,45% da taxa de transferência de calor no ponto mais aquecido da chaminé, após o isolamento. Isso demonstra de forma clara o desempenho do isolamento térmico. Esse comparativo também pode ser verificado no gráfico 2, que apresenta a variação da taxa de transferência de calor nos sistemas com isolamento e sem isolamento.

Gráfico 2 – Calor total perdido nas chaminés com e sem isolamento.



Fonte: Autor, 2025.

Na chaminé sem isolamento perde-se mais calor na região de maior temperatura, a qual fica logo após a saída do fogão. Enquanto na chaminé com isolamento a perda de calor é constante ao longo da altura. É possível notar ainda que a transferência de calor é mais expressiva no primeiro metro de altura da chaminé, em alturas superiores a isso a temperatura da chaminé diminuiu consideravelmente, o que reduz a taxa de transferência de calor para o ambiente.

Sabendo da importância do isolante térmico, como objetivo principal desta pesquisa, foram realizados cálculos para que se pudesse dimensionar a espessura da camada de isolante térmico nas tubulações. Utilizando a equação 4 que fornece a taxa de transferência de calor em coordenadas cilíndricas e isolando uma de suas

variáveis foi possível a obtenção da equação 5, nela é possível extrair o raio da tubulação considerando a espessura do isolante, para diferentes diâmetros, alturas e temperaturas.

A tabela 3 relaciona a espessura de isolante térmico para que a temperatura da superfície externa (após a camada de isolante) permaneça constante em 30°C.

Tabela 3 – Espessura do isolamento térmico.

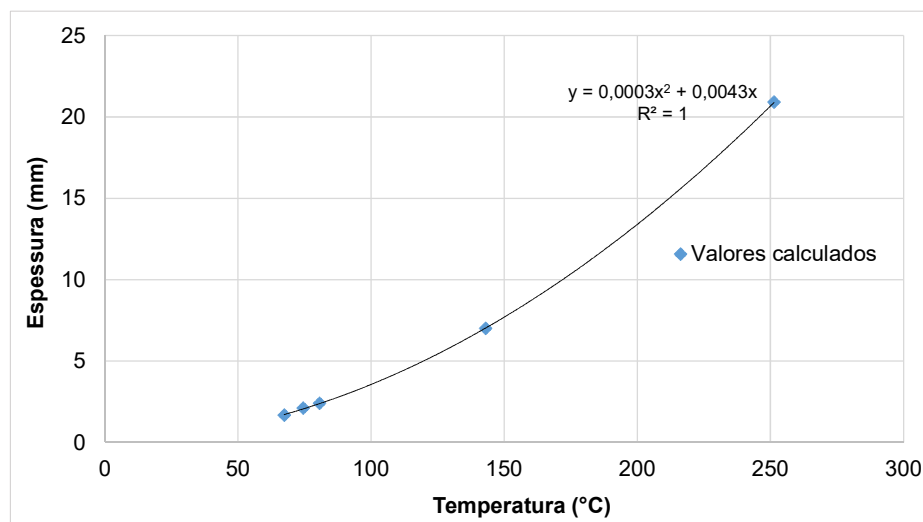
Temperatura chaminé (°C)	Altura (m)	Espessura (m)
251,4	0,0	0,0209
143	0,5	0,007
80,6	1,0	0,0024
74,6	1,5	0,0021
67,4	2,0	0,0017

Fonte: Autor, 2025.

Os valores calculados na tabela 3 ainda estão relacionados a uma temperatura ambiente de 15 °C, material da chaminé em aço inoxidável (AISI 304), emissividade 0,22, com diâmetro de 0,12 m e temperatura da superfície constante ao longo de 0,50 m, sendo o isolante escolhido a fibra de vidro, com condutividade térmica entre 0,042 a 0,077 W/m·K de acordo com a temperatura de trabalho.

Para que possamos entender melhor a variação da espessura do isolante de acordo com a variação da temperatura de superfície, no gráfico 3 contém a curva que representa esta relação.

Gráfico 3 – Variação da espessura com a temperatura.

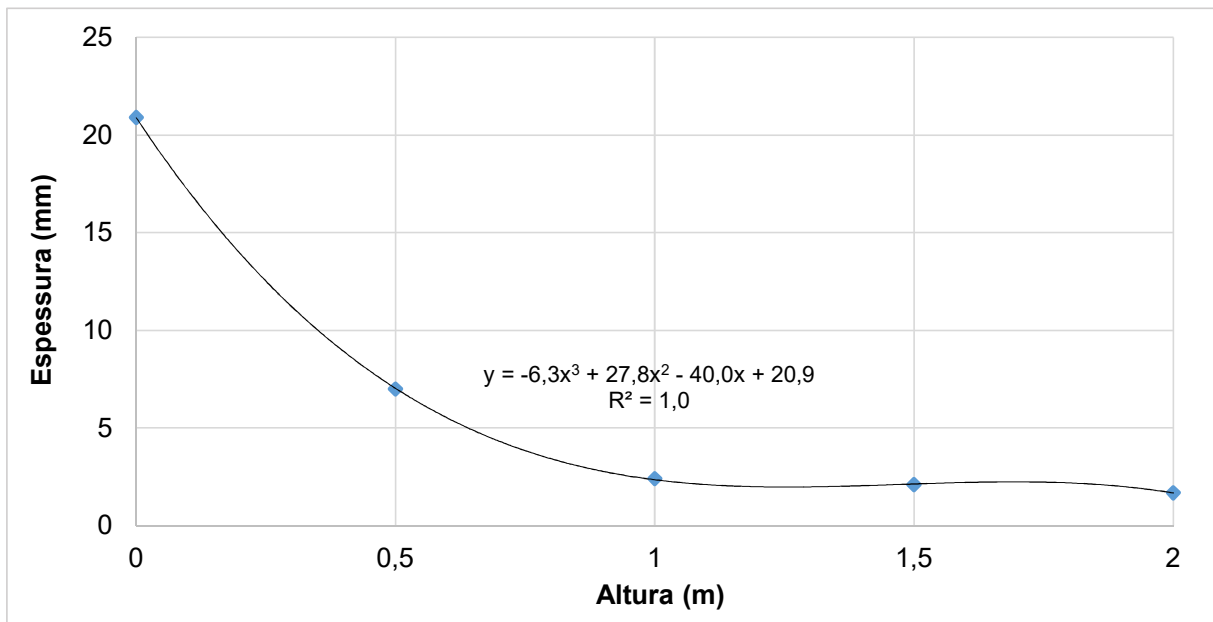


Fonte: Autor, 2025.

Percebe-se que a medida que a temperatura da superfície aumenta a espessura do isolante também aumenta, o que torna claro que em temperaturas mais elevadas a camada de isolamento térmico deve ser maior.

Já se compararmos a camada de isolamento térmico relativo à altura da chaminé temos uma situação inversa, pois a medida que aumenta a altura da chaminé a espessura decresce de forma logarítmica, devido a diminuição da temperatura. Isto pode ser verificado no gráfico 4 que traz a relação da altura da chaminé e a espessura do isolamento térmico.

Gráfico 4 – Variação da espessura com a altura da chaminé.



Fonte: Autor, 2025.

De modo a simplificar a escolha da espessura necessária para o isolamento, foi elaborado uma tabela que relaciona a temperatura da superfície sem isolamento, variando apenas o diâmetro, tendo assim a espessura do isolamento, sem que precise realizar cálculos. Na tabela 4 relaciona-se a espessura com a variação da temperatura e do diâmetro, para uma temperatura ambiente de 15 °C.

Tabela 4 – Espessura do isolante ao variar temperatura e diâmetro

Temperatura ambiente (°C)	15					
Temperatura da superfície (°C)	50	100	150	200	250	300
Diâmetro (m)	Espessura (m)					
0,1	0,0007	0,003	0,0063	0,011	0,0172	0,0259
0,11	0,0008	0,0033	0,007	0,0121	0,0189	0,0285
0,12	0,0009	0,0036	0,0076	0,0132	0,0207	0,0311
0,13	0,0009	0,0039	0,0082	0,0143	0,0224	0,0336
0,14	0,001	0,0042	0,0089	0,0154	0,0241	0,0362
0,15	0,0011	0,0045	0,0095	0,0165	0,0258	0,0388
0,16	0,0011	0,0048	0,0101	0,0176	0,0275	0,0414
0,17	0,0012	0,0051	0,0108	0,0187	0,0293	0,044
0,18	0,0013	0,0054	0,0114	0,0198	0,031	0,0466
0,19	0,0013	0,0057	0,012	0,0209	0,0327	0,0492
0,20	0,0014	0,006	0,0127	0,022	0,0344	0,0518

Fonte: Autor, 2025.

A escolha do isolamento térmico que revestirá a chaminé também gera grandes influências na camada de isolamento necessária, já que para cada isolante tem-se condutividades térmicas distintas e que variam de acordo com a temperatura a qual estão expostas.

Atualmente existem variados tipos e modelos de isolantes térmicos sendo os mais comuns: amianto, carbonato de magnésio, sílica diatomácea, vermiculita, lã de rocha, lã de vidro, cortiça, plásticos expandidos, aglomerados de fibras vegetais, silicato de cálcio, entre outros (Neto, 2009).

Neste trabalho optou-se pelo estudo da lã de vidro devido a disponibilidade comercial e custo mais acessível, além disso é um dos materiais de maior uso para esta finalidade regionalmente.

A tabela 5 mostra uma simulação da variação da espessura de isolamento ao alterar-se o isolante e para que mantenha-se a uma temperatura constante na superfície em 30°C.

Tabela 5 – Variação da espessura ao mudar o isolante térmico.

Temperatura da superfície metálica da chaminé (°C)		67	75	80	140	250
Isolante	Condutividade térmica - k (W/m·K)	Espessura (m)				
		Ar	0,00117	0,0014	0,0016	0,0043
Fibra de vidro	0,042 – 0,077	0,00168	0,0021	0,0024	0,007	0,0209
Vidro celular	0,066 – 0,091	0,00265	0,0032	0,0037	0,0101	0,0256

Fonte: Autor, 2025.

Na tabela 5 é feito um comparativo entre a fibra de vidro, utilizada como isolante térmico neste trabalho, com outros dois materiais de isolamento para mostrar a variação de valores que pode ocorrer ao modificar o tipo de isolante térmico. Esses dados foram obtidos mantendo as características geométricas da chaminé e para temperatura de 15 °C do ambiente e 30 °C da superfície isolada.

Outras propriedades que podem alterar a espessura da camada térmica de isolante é o valor escolhido como temperatura requerida para superfície, neste trabalho usou-se a temperatura fixa de 30 °C, porém se desejarmos uma temperatura menor que esta a espessura de isolante deve ser aumentada e para temperaturas maiores a espessura diminui.

Adotou-se também que as temperaturas medidas na superfície da chaminé eram constantes numa faixa de 0,50 m de altura, porém sabe-se que as temperaturas variam em cada ponto da chaminé de forma infinitesimal.

Mudanças geométricas e no material da chaminé podem também acarretar variações na espessura, como é o caso de chaminés com as paredes do cilindro muito espessas, tornando necessário a realização do cálculo do calor transferido por condução. Outra situação ocorre quando modifica-se o tipo de material utilizado na confecção da chaminé para outros tipos de metais ou qualquer outro material, pois promove a modificação no valor da emissividade e conseqüentemente altera a taxa de calor transferido por radiação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A chaminé isolada termicamente apresentou taxa de transferência de calor muito abaixo do valor da chaminé sem isolamento. Essa redução na taxa de transferência de calor representa de forma geral que o isolamento além de propiciar a queda na temperatura externa da chaminé também foi capaz de reduzir os níveis de perda

energética e aumento na eficiência do sistema, podendo assim garantir a segurança da residência contra possíveis incêndios ou queimaduras.

Na chaminé estudada observou-se uma velocidade do fluido de exaustão de 0,191 m/s. Levando ao uso analogias de cálculo de transferência de calor em regime laminar no interior da chaminé.

Os cálculos de transferência de calor levaram a conclusão que a grande perda de calor ocorre no primeiro metro de altura da chaminé. Em alturas maiores que 1 m a temperatura da chaminé reduz drasticamente, necessitando de uma baixa espessura de isolamento térmico a partir dessa altura.

A taxa de calor perdida pela chaminé variou de 220 W próximo a saída do fogão até 20 W a uma altura de 2 m da chaminé.

Para que a temperatura externa da chaminé seja constante em 30°C a espessura necessária de fibra de vidro variou entre 0,021 m próximo a saída do fogão até 0,0017 m a uma altura de 2 m da chaminé.

Essas observações são de extrema valia para o projetista ou engenheiro que objetiva trabalhar no isolamento de tubulações aquecidas, isso porque além desses índices mencionados outros aspectos como geometria e escolha dos materiais impactam da mesma forma o cálculo da espessura do isolante. Sendo que a depender do material escolhido no fabrico da chaminé, pode alterar os índices de emissividade das ondas eletromagnéticas, influenciando diretamente na taxa de transferência de calor total.

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização do isolamento térmico em apenas 1 m da tubulação e que seja feita a medição do gradiente de temperatura antes e depois do isolamento, para que possa ser feito um comparativo de como ocorre a dissipação do calor verticalmente na chaminé.

REFERÊNCIAS

BERGMAN, Theodore L. Incropera. **Fundamentos de transferência de calor e de massa** / Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine ; tradução e revisão técnica Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Eduardo Mach Queiroz, André Luiz Hemerly Costa. - 8. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2015.

BOURKE, Patrick; BISON, Adriano von Faber. **A importância do resfriamento da queimadura no atendimento pré-hospitalar**. Revista Brasileira de Queimaduras, Goiânia, Go, v. 14, n. 1, p. 31-34, abr. 2015. Disponível em: file:///C:/Users/Henrique/Downloads/v14n1a08%20(1).pdf. Acesso em: 31 jan. 2025.

BOTTI, Henrique Negri. **Estudos sobre o desenvolvimento de projeto de chaminés**. 2004. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

DEHAAN, John D. **Kirk's fire investigation**. 6. ed. New Jersey. Pearson Prentice Hall, 2007.

LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica** / Marina de Andrade Marconi, Eva Maria Lakatos. – 8. ed. – São Paulo : Atlas, 2017.

NETO, Carlos Boabaid. **Isolamento Térmico**. 2009. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/e/ee/TCL_Vol_II_-_Isolamento_Termico.pdf. Acesso em: 24 fev. 2025.

POPPER, Karl S. **A lógica da pesquisa científica**. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1975a.

SCHMIDT, Frank W. **Introdução às ciências térmicas: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor** / Frank W. Schmidt, Robert E. Henderson, Carl H. Wolgemuth; coordenação da tradução e revisão técnica José Roberto Simões Moreira; equipe de tradução Arlindo Tribess ... [et al.]. – São Paulo: Blucher, 1996.

SILVA, Robson Fermiano Barbosa; GIACOMIN, Polliana Müller. **Incêndios em chaminés de residências unifamiliares: causas e prevenção**. 2019. 16 f. Monografia (Especialização) - Curso de Perícia em Incêndio e Explosão, Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019. Disponível em: file:///C:/Users/Henrique/Downloads/PGPIE_2019_Fermiano%20(1).pdf. Acesso em: 31 jan. 2025.