



TRANSMISSÃO DE CALOR

Transferência de Calor em Superfícies com Alhetas ou Pinos

12/10/2021 - 9h

Autores

Grupo 23

Afonso TEIXEIRA, N.º 92652

Bruno VITORINO, N.º 92669

João MACHADO, N.º 92696

Vítor SILVA, N.º 92731

Mestrado Bolonha em Engenharia Aeroespacial

Ano letivo 2021/2022

Lisboa, 18 de outubro de 2021

Professor: João Abreu

Conteúdo

1	Sumário	1
2	Introdução	1
3	Fundamentos Teóricos	1
4	Resultados experimentais	4
5	Análise de Resultados	5
6	Conclusão	7
	Referências	7
A	Anexos	8
A.1	Cálculo do l e l_0	8
A.2	Cálculos Áreas	8
A.3	Cálculos Experimentais	8
A.3.1	1º Ensaio	8
A.3.2	2º Ensaio	9
A.4	Cálculos Temperatura do Filme Térmico	9
A.4.1	1º Ensaio	9
A.4.2	2º Ensaio	9
A.5	Propriedades do ar e alumínio	10
A.6	Cálculos Teóricos	10
A.6.1	1º Ensaio	10
A.6.2	2º Ensaio	10
A.6.3	Resultados teóricos finais	11

1 Sumário

O ensaio laboratorial consiste na análise da transferência de calor, entre um escoamento de ar forçado numa conduta retangular, em que uma das suas superfícies é aquecida.

Durante a realização deste relatório, foi possível verificar a diferença entre os cálculos experimentais e teóricos, assumindo uma das correlações disponíveis. Esta escolha, teve por base a aproximação a uma placa plana, em regime laminar ($Re < 5 \cdot 10^5$).

Verificaram-se algumas diferenças entre os valores experimentais e teóricos, tendo sido descritas mais a frente.

Finalizando, vale a pena realçar que o aumento da velocidade do ar, promove um aumento do coeficiente de convecção. Esta variação deve-se ao aumento da transferência de calor por convecção.

2 Introdução

O ensaio consistiu em impor uma potência e, através de um ventilador, controlou-se a velocidade, de forma a alcançar o valor pretendido para a realização desta experiência, num primeiro caso 1 m s^{-1} e num segundo 2 m s^{-1} . Quando estes valores foram atingidos, e estando o sistema estabilizado, foi possível medir diferentes valores de temperatura em diferentes posições relativamente às alhetas, bem como na conduta do ar, tanto na entrada como na saída.

Os principais objetivos deste ensaio são:

1. Cálculo dos balanços de energia para descobrir qual é que foi a potência de aquecimento.
2. Através da valor da potência chegar aos valores experimentais do coeficiente de convecção.
3. Calcular o valor teórico de convecção através de uma correlação a definir.
4. Calcular os rendimentos e a eficácia para os diferentes ensaios.
5. Desenhar gráficos com valores adimensionais para uma melhor visualização dos resultados.
6. Comparar os valores experimentais com os teóricos.

3 Fundamentos Teóricos

Começando por apresentar as equações para o cálculo do balanço de energia ao ar, estas surgem da 1ª Lei da Termodinâmica:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = Q_t + W_t \quad (1)$$

sendo $\Delta U_{\text{sistema}}$ a soma das contribuições das variações de energia interna, potencial e cinética. Para além disso, Q_t e W_t representam a quantidade de calor e trabalho, respetivamente, que o sistema recebe (neste caso, a convenção utilizada foi a de que, quando estas quantidades são fornecidas ao exterior *pelo* sistema, o sinal será negativo).

A partir desta equação teremos, para o cálculo da potência recebida no ar, a seguinte expressão:

$$q_{in} = \dot{m}C_p(T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \quad (2)$$

De seguida, para o cálculo do coeficiente de convecção é necessário escolher a correlação mais semelhante às alhetas, em termos de geometria, assim como no tipo de escoamento que escoar em volta destas.

As primeiras expressões necessárias serão a do número de Reynolds, Prandtl e do número de Nusselt médio:

$$Re_x = \frac{\rho u_{max} x}{\mu} \quad (3)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{C_p \rho \nu}{k} \quad (4)$$

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} L}{k_f} \quad (5)$$

Devido à forma das alhetas, tal como é possível ver nas figuras seguintes:

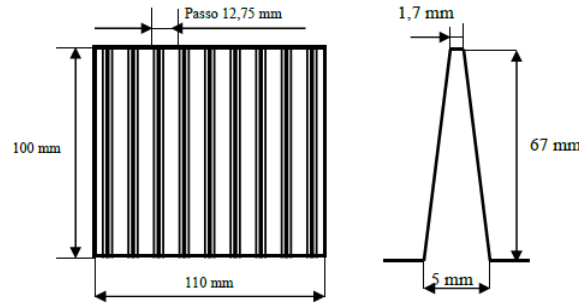


Figura 1: Perfil e dimensões das alhetas

O escoamento que as atravessa será aproximado como se de placas planas se tratassem.

Tendo como valor representativo do Reynolds crítico, $Re_c = 5 \times 10^5$ determinou-se que o escoamento será laminar (ver anexo).

Para estes números adimensionais, são necessárias algumas propriedades do ar, que variam com a temperatura. Desta forma, será utilizada a definição de filme térmico e avaliar-se-á para a temperatura nesse filme (T_f), todas as propriedades necessárias e em que: $T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$.

Para além disso, a velocidade do escoamento que atravessa as alhetas é maior do que a que atravessa a conduta retangular. Desta forma, o número de Reynolds é calculado com essa velocidade (u_{max}). Através de um simples balanço de massa,

$$A_{conduta} \cdot u_{entrada} = (A_{conduta} - 9A_p) \cdot u_{max} \Leftrightarrow u_{max} = \frac{A_{conduta}}{(A_{conduta} - 9A_p)} u_{entrada} \quad (6)$$

em que A_p corresponde à área do perfil da alheta.

Para a aproximação feita do escoamento e o seu regime laminar tem-se a correlação seguinte, válida para $Pr \gtrsim 0.6$, o que coincide à presente situação, como é possível ver nos cálculos em anexo:

$$\overline{Nu} = 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad (7)$$

A partir da equação 5 obtém-se então o coeficiente de convecção médio teórico (\bar{h}).

Para obter o coeficiente de convecção experimental, visto que este não é medido diretamente, pode-se utilizar a lei de arrefecimento de Newton

$$q_{in} = h A_t \Delta T_{lm} \quad (8)$$

com $\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_o}\right)}$ devido às grandes variações de temperatura no escoamento entre as alhetas (T_s corresponde à temperatura média na superfície da alheta, T_i à temperatura do ar à entrada e T_o à temperatura média do ar à saída). Para além disso, A_t corresponde à área em que efetivamente há convecção.

Por fim, falta apenas obter as expressões teóricas para a temperatura esperada em cada alheta, o fluxo de calor que atravessa pela base de cada uma e ainda a expressão para o rendimento destas.

Essas são as seguintes:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{K_1(u_0)I_0(2m\sqrt{x}) + I_1(u_0)K_0(2m\sqrt{x})}{K_1(u_0)I_0(u) + I_1(u_0)K_0(u)} \quad (9)$$

$$\frac{q_f}{L} = \frac{mkt\theta_b}{\sqrt{l}} \left(\frac{K_1(u_0)I_1(u) - I_1(u_0)K_1(u)}{K_1(u_0)I_0(u) + I_1(u_0)K_0(u)} \right) \quad (10)$$

$$\eta_f = \left(\frac{l}{l - l_0} \right) \frac{2}{u} \left(\frac{K_1(u_0)I_1(u) - I_1(u_0)K_1(u)}{K_1(u_0)I_0(u) + I_1(u_0)K_0(u)} \right) \quad (11)$$

Em que $m^2 = \frac{2hl}{kt}$, $u = 2m\sqrt{l}$ e $u_0 = 2m\sqrt{l_0}$.

Estas expressões são utilizadas para o referencial seguinte em que l_0 é a distância à ponta que existiria se não tivesse sido cortada, ou seja, tivessem um perfil triangular:

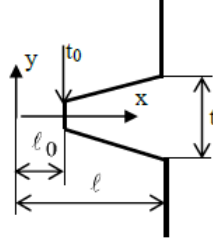


Figura 2: Referencial do perfil de cada alheta

Para se obter o valor experimental do rendimento de uma alheta usa-se a seguinte relação:

$$\eta_f = \frac{q_f}{hA_t\theta_b} \quad (12)$$

em que $\theta_b = T_{base} - T_\infty$ e $q_f \equiv q_{in}$ e depois, para o rendimento do conjunto total, a equação seguinte é usada (tanto para o caso teórico como experimental)[1]:

$$\eta_t = 1 - \frac{NA_{fin}}{A_t}(1 - \eta_f) \quad (13)$$

4 Resultados experimentais

Na tabela seguinte são apresentados todos os dados medidos e registados no laboratório. É importante salientar que, neste capítulo de Resultados Experimentais assim como na sua análise, o referencial usado passará a ter $x=0$ na base da placa, aumentando no sentido em que a área da alheta diminui (ou seja, o referencial aponta para a ponta da alheta). Para além disso, apesar dos resultados diretamente medidos estarem na 2ª e 3ª coluna da tabela, os valores reais são os das colunas 4 e 5, já que foi necessário efetuar correções às medições devido à presença de termopares, conectados a fichas com soldadura.[2]

	1º Ensaio	2º Ensaio	Correção 1º Ensaio	Correção 2º Ensaio
Potência imposta na base [W]	69	69	—	—
Velocidade do ar [m/s]	1.1	2	—	—
Temperatura da face interior da placa [°C]	50	49	47.4	46.4
Temperatura da face exterior da placa [°C]	41	38	38.5	35.5
Temperatura do ar na entrada [°C]	27	28	24.5	25.5
Temperatura da superfície em $x = 10$ mm [°C]	40	37	37.5	34.5
Temperatura da superfície em $x = 36$ mm [°C]	38	36	35.5	33.5
Temperatura da superfície em $x = 62$ mm [°C]	35	32	32.5	29.5
Temperatura do ar de saída a $x = 10$ mm [°C]	34	33	31.5	30.5
Temperatura do ar de saída a $x = 36$ mm [°C]	33	32	30.5	29.5
Temperatura do ar de saída a $x = 62$ mm [°C]	29	29	26.5	26.5

Tabela 1: Resultados obtidos na experiência das alhetas rectangulares

Para melhor interpretação da evolução da temperatura, é também apresentado de seguida, os gráficos que mostram a sua evolução em x :

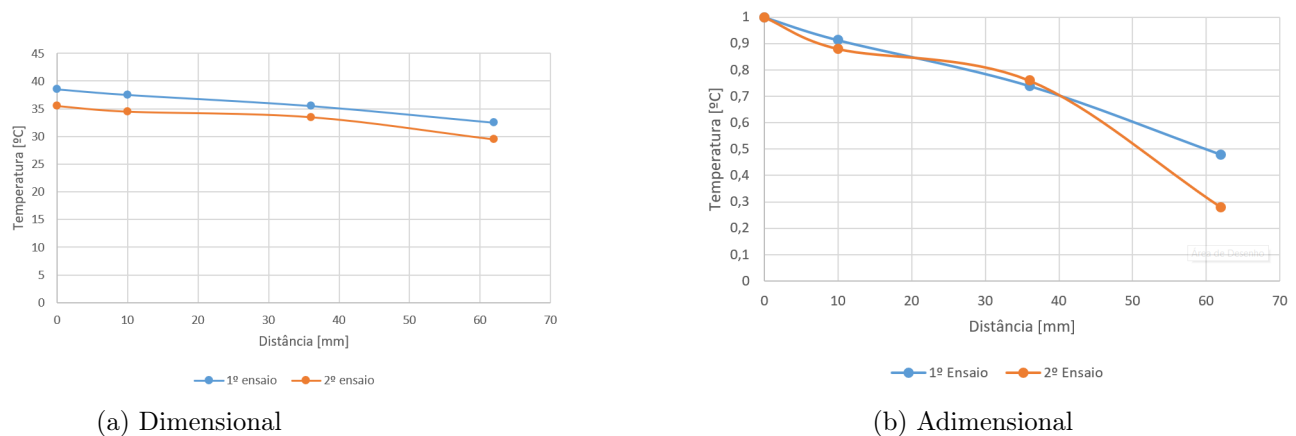


Figura 3: Distribuição de temperaturas

5 Análise de Resultados

Começando, tal como pedido, pelo balanço de energia do energia ao ar, os resultados obtidos foram os seguintes:

$$1^{\circ} \text{ ensaio} : q_{in} \equiv q_{fin} = 53.90W$$

$$2^{\circ} \text{ ensaio} : q_{in} \equiv q_{fin} = 65.33W$$

Estes resultados aproximam-se, especialmente no 2º ensaio, dos 69W fornecidos à base das alhetas e que estas, por sua vez, forneciam ao ar. No entanto, é de salientar que para o primeiro ensaio há uma grande diferença (cerca de 21.7%). Uma possível explicação para este acontecimento, poderá ser o facto de parte da energia ainda estar a ser armazenada nas alhetas e por isso, o sistema encontrar-se ainda em regime transiente, quando se mediu a temperatura do ar à saída. Como no 2º ensaio, as alhetas já estariam a temperaturas correspondentes ao regime estacionário, o valor já se aproxima dos 69W.

Passando agora para a análise dos coeficientes de convecção obtidos em ambos os ensaios:

	1º Ensaio	2º Ensaio
$h_{teorico}$	14.1776	20.0212
$h_{experimental}$	48.3906	86.6787

Tabela 2: Valores do coeficiente de convecção teórico e experimental

Em primeira análise, é possível inferir que a aproximação de placa plana e de regime laminar em todo o comprimento das alhetas não é o ideal. Uma das formas de ver isso é analisando o valor máximo da espessura da camada limite, δ_{max} que dá 5.535mm para o 1º ensaio e 3.916mm para o 2º (cálculos em anexo, equação 22). Sendo a distância entre a base das alhetas de 7.75mm, haverá interferência das camadas limites e diferenças no regime do escoamento.

Por outro lado, o pressuposto de placa plana não tem em conta a convecção na ponta da alheta. Devido a estas razões, justifica-se o grande erro obtido no coeficiente de convecção.

É importante ver também que, tal como esperado, para uma velocidade de escoamento maior (2º ensaio) o coeficiente de convecção aumenta.

Nas tabelas seguintes apresenta-se os rendimentos para uma alheta assim como para o conjunto destas:

	1º Ensaio	2º Ensaio
$\eta_{f_{teorico}}$	0.9582	0.9422
$\eta_{f_{experimental}}$	0.7621	0.7115

Tabela 3: Rendimento de apenas uma alheta

	1º Ensaio	2º Ensaio
$\eta_{t_{teorico}}$	0.9652	0.9422
$\eta_{t_{experimental}}$	0.7743	0.7263

Tabela 4: Rendimento do conjunto das alhetas

Sendo as expressões teóricas para o rendimento, coincidentes com a forma das alhetas, estes valores não apresentam grandes discrepâncias, sendo os erros na ordem dos 20%.

Por fim, falta apenas analisar a distribuição da temperatura. Tal como é possível ver na tabela 1 e na figura 3, a temperatura diminui à medida que x aumenta, devido às trocas de calor com o escoamento, tal como esperado.

Seguidamente, são apresentados os gráficos dos valores adimensionais de cada ensaio (figura 3b) em contraste com os valores teóricos:

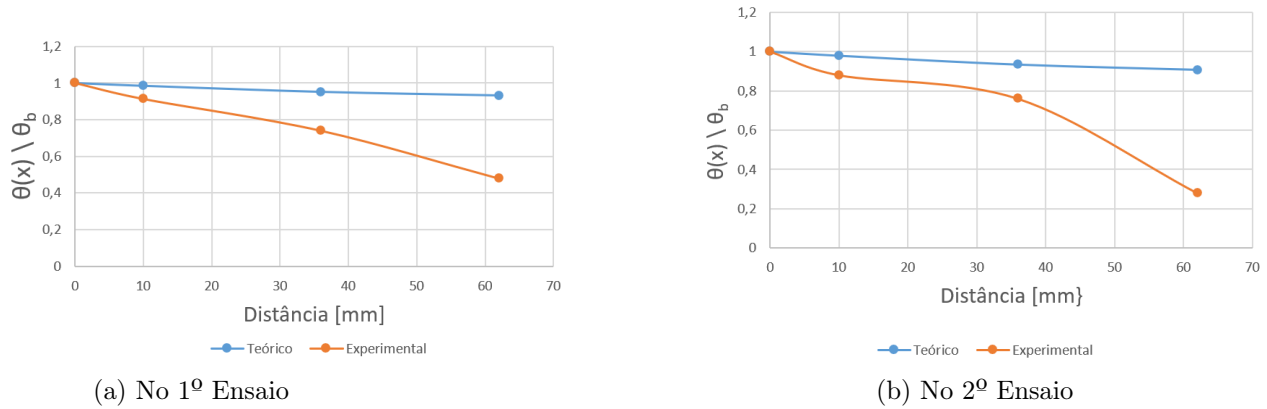


Figura 4: Distribuição adimensional de temperaturas

É possível observar que, as discrepâncias entre o modelo teórico e a experiência aumentam à medida que a distância à da ponta da alheta diminui. Principalmente a partir de $x = 30$ os gráficos da temperatura experimentais desviam-se bastante.

Tal redução de temperatura pode ser explicado porque, a convecção na ponta faz com que a temperatura das alhetas diminua significativamente e por isso os gráficos experimentais têm este aspeto.

6 Conclusão

Como já referido anteriormente, a principal conclusão a retirar deste ensaio é que um aumento da velocidade do ar promove um aumento do coeficiente de convecção, devido ao aumento da transferência de calor. De realçar que esta análise laboratorial, foi realizada em condições de potência induzida constante,

É possível visualizar alguns erros, quando se comparam os valores experimentais com os valores teóricos. Estes podem estar relacionados com a correlação usada nos cálculos, associada a um fluido em regime laminar sobre uma placa plana, o que experimentalmente é apenas uma aproximação.

Foi possível verificar através do número de Reynolds, que ambos os ensaios estavam em regime laminar. No entanto, devido à existência de valores experimentais de convecção alta, a camada limite sobre a superfície plana aumenta, criando uma sobreposição que não é esperada pelo modelo teórico, devido à proximidade das alhetas.

Os cálculos realizados nos anexos provam que o número de alhetas é proporcional à eficiência das alhetas, isto é, se o número de alhetas aumentar a eficiência é maior.

Um dos maiores erros cometidos neste ensaio foi a dificuldade em estabilizar a temperatura do sistema, não só no começo mas também na mudança entre os dois ensaios. Por essa razão, alguns dados poderão ter sido obtidos ainda em regime transiente.

O sensor usado, também, podia demorar algum tempo a medir a temperatura, principalmente quando estava em contacto com o exterior da placa, já que esta é feita de alumínio. Como o sensor também é de metal, a medição é dificultada. Para melhorar esta medição, deveria ter sido utilizada pasta térmica, de forma a promover a condução entre a placa e a sonda, mas esta não estava disponível aquando da realização da atividade experimental.

Referências

- [1] F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergman, and A.S. Lavina. *Fundamentals of Heat and Mass transfer*. Don Fowley, 2011.
- [2] Guia do ensaio experimental - transferência de calor em superfícies com alhetas ou pinos. Disponível em: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452102755/Guia_Lab_Alhetas_2021_PT.pdf (Consultado a 12/10/2021).
- [3] Microelectronics Heat Transfer Laboratory. Fluid properties calculator. Disponível em: <http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html> (Consultado a 15/10/2021).
- [4] TIBTECH innovations. Metal properties table. Disponível em: https://www.tibtech.com/conductivite.php?lang=en_US (Consultado a 15/10/2021).

A Anexos

A.1 Cálculo do l e l_0

$$\theta = \arctan\left(\frac{67}{1.65}\right) = 88.59^\circ$$

$$l_0 = 0.85 \cdot 10^{-3} \cdot \tan(88.59) = 0.034\,515\text{ m}$$

$$l = l_0 + 67 \cdot 10^{-3} = 0.101\,515\text{ m}$$

A.2 Cálculos Áreas

$$A_t = A_{placa} - 9A_{base_{fin}} + 18A_{lat_{fin}} \quad (14)$$

$$A_{placa} = 0.11 \cdot 0.1 = 0.011\text{ m}^2$$

$$A_{base_{fin}} = 0.005 \cdot 0.1 = 0.0005\text{ m}^2$$

$$A_{lat_{fin}} = \sqrt{0.067^2 + \left(\frac{0.005 - 0.0017}{2}\right)^2} \cdot 0.1 = 0.0067\text{ m}^2$$

$$A_p = \frac{5 \cdot (l + l_0)}{2} - \frac{1.7 \cdot l_0}{2} = 0.000\,224\text{ m}^2 \quad (15)$$

$$A_t = 0.1271\text{ m}^2$$

A.3 Cálculos Experimentais

A.3.1 1º Ensaio

$$\overline{T_{out}} = \frac{31.5 + 30.5 + 26.5}{3} = 29.5^\circ\text{C}$$

$$\overline{T_{sur}} = \frac{38.5 + 37.5 + 35.5 + 32.5}{4} = 36^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(36 - 24.5) - (36 - 29.5)}{\ln\left(\frac{36-24.5}{36-29.5}\right)} = 8.7636^\circ\text{C}$$

$$q_{fin} = 1.1591 \cdot 1.1 \cdot (120 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 10^{-3}) \cdot 1.0065 \cdot 10^3 \cdot (29.5 - 24.5) = 53.9\text{ W}$$

$$\bar{h} = \frac{q}{A_t \Delta T_{lm}} = 48.3906\text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \quad (16)$$

$$T_\infty = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = 27^\circ\text{C}$$

$$\eta_f = \frac{q_{fin}}{q_{max}} = \frac{q_{fin}}{hA_t(T_{base} - T_{\infty})} = 0.7621 \quad (17)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{9 \cdot A_{fin}}{A_t}(1 - 0.7621) = 0.7743 \quad (18)$$

A.3.2 2º Ensaio

$$\overline{T_{out}} = \frac{30.5 + 29.5 + 26.5}{3} = 28.83^{\circ}C$$

$$\overline{T_{sur}} = \frac{35.5 + 34.5 + 33.5 + 29.5}{4} = 33.25^{\circ}C$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(33.25 - 25.5) - (33.25 - 28.83)}{\ln\left(\frac{33.25 - 25.5}{33.25 - 28.83}\right)} = 5.93^{\circ}C$$

$$q_{fin} = 1.1602 \cdot 2 \cdot (120 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 10^{-3}) \cdot 1.0065 \cdot 10^3 \cdot (28.83 - 25.5) = 65.33 \text{ W}$$

$$\bar{h} = \frac{q}{A_t \Delta T_{lm}} = 86.6787 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}C^{-1} \quad (19)$$

$$T_{\infty} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = 27.165^{\circ}C$$

$$\eta_f = \frac{q_{fin}}{q_{max}} = \frac{q_{fin}}{hA_t(T_{base} - T_{\infty})} = 0.7115 \quad (20)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{9 \cdot A_{fin}}{A_t}(1 - 0.7115) = 0.7263 \quad (21)$$

A.4 Cálculos Temperatura do Filme Térmico

A.4.1 1º Ensaio

$$T_f = \frac{36 + 27}{2} = 31.5^{\circ}C$$

A.4.2 2º Ensaio

$$T_f = \frac{33.25 + 27.165}{2} = 30.21^{\circ}C$$

A.5 Propriedades do ar e alumínio

	1º Ensaio	2º Ensaio
Temperatura do filme Térmico [°C]	31.5	30.21
Viscosidade [m^2/s]	$1.6177 \cdot 10^{-5}$	$1.6150 \cdot 10^{-5}$
Densidade [W/m^3]	1.1591	1.1602
Cp [$J/(kg \cdot K)$]	$1.0065 \cdot 10^3$	$1.0065 \cdot 10^3$
K_{ar} [$W/(m \cdot K)$]	0.026452	0.026430
$K_{alumínio}$ [$W/(m \cdot K)$]	237	237

Tabela 5: Dados usados na realização dos cálculos teóricos[3][4]

A.6 Cálculos Teóricos

A.6.1 1º Ensaio

$$V_{max_1} = \frac{0.12 \cdot 0.07}{0.12 \cdot 0.07 - 9 \cdot 0.000224} \cdot 1 = 1.32 \text{ m s}^{-1}$$

$$Re = \frac{1.32 \cdot 0.1}{1.6177 \cdot 10^{-5}} = 8.16 \cdot 10^3$$

$$\delta_{max} = \frac{5L}{\sqrt{Re_L}} = \frac{5 \cdot 0.1}{\sqrt{8.16 \cdot 10^3}} = 0.005535 \text{ m} \quad (22)$$

$$Pr = \frac{1.0065 \cdot 10^3 \cdot 1.1591 \cdot 1.6177 \cdot 10^{-5}}{0.026452} = 0.7135$$

$$\overline{Nu} = 0.664 \cdot (8.16 \cdot 10^3)^{\frac{1}{2}} \cdot 0.7135^{\frac{1}{3}} = 53.5975$$

$$\bar{h} = \frac{53.5975 \cdot 0.026452}{0.1} = 14.1776 \text{ W m}^{-2} \text{ °C}^{-1}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{9 \cdot A_{fin}}{A_t} (1 - 0.9582) = 0.9652 \quad (23)$$

A.6.2 2º Ensaio

$$V_{max_2} = \frac{0.12 \cdot 0.07}{0.12 \cdot 0.07 - 9 \cdot 0.000224} \cdot 2 = 2.63 \text{ m s}^{-1}$$

$$Re = \frac{2.63 \cdot 0.1}{1.6150 \cdot 10^{-5}} = 1.63 \cdot 10^4$$

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot 0.1}{\sqrt{1.636 \cdot 10^4}} = 0.003916 \text{ m}$$

$$Pr = \frac{1.0065 \cdot 10^3 \cdot 1.1602 \cdot 1.615 \cdot 10^{-5}}{0.026430} = 0.7135$$

$$\overline{Nu} = 0.664 \cdot (1.63 \cdot 10^4)^{\frac{1}{2}} \cdot 0.7135^{\frac{1}{3}} = 75.7518$$

$$\bar{h} = \frac{75.7518 \cdot 0.026430}{0.1} = 20.0212 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{9 \cdot A_{fin}}{A_t} (1 - 0.9491) = 0.9422 \quad (24)$$

A.6.3 Resultados teóricos finais

	1º Ensaio			2º Ensaio		
	x = 10 mm	x = 36 mm	x = 62 mm	x = 10 mm	x = 36 mm	x = 62 mm
$u_0 = 2 \cdot m \cdot \sqrt{l_0}$	0.5789	0.5789	0.5789	0.6880	0.6880	0.6880
$u = 2 \cdot m \cdot \sqrt{l}$	0.9930	0.9930	0.9930	1.1800	1.1800	1.1800
$u_x = 2 \cdot m \cdot \sqrt{x}$	0.9428	0.7977	0.6195	1.1204	0.9479	0.7361
$K_1(u_0)$	1.3672	1.3672	1.3672	1.0767	1.0767	1.0767
$I_1(u_0)$	0.3018	0.3018	0.3018	0.3647	0.3647	0.3647
$K_0(u)$	0.4253	0.4253	0.4253	0.3273	0.3273	0.3273
$I_0(u)$	1.2621	1.2621	1.2621	1.3796	1.3796	1.3796
$K_0(u_x)$	0.4572	0.5673	0.7527	0.3554	0.4538	0.6239
$I_0(u_x)$	1.2349	1.1655	1.0983	1.3393	1.2376	1.1401
$\left(\frac{\theta(x)}{\theta(b)}\right)_{teorico}$	0.9851	0.9519	0.9324	0.9793	0.9335	0.9067
$\left(\frac{\theta(x)}{\theta(b)}\right)_{experimental}$	0.9130	0.7391	0.4783	0.8800	0.7600	0.2801
$\eta_{teorico}$	0.9582			0.9422		

Tabela 6: Resultados teóricos obtidos através do Matlab e temperatura experimental adimensional