



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
Curso de Engenharia Mecânica

**JOÃO MANOEL TORRES LOBATO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ALETAS  
DE PERFIL RETANGULAR E PERFIL  
TIPO AEROFÓLIO**

SÃO LUÍS/MA  
2018

**JOÃO MANOEL TORRES LOBATO**

# **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ALETAS DE PERFIL RETANGULAR E PERFIL TIPO AEROFÓLIO**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO(A) ALUNO(A) JOÃO MANOEL TORRES LOBATO, E ORIENTADO PELO(A) PROF(A). LOURIVAL MATOS DE SOUZA FILHO



---

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUÍS/MA  
2018

Lobato, João Manoel Torres.

Análise do desempenho de aletas de perfil retangular e perfil tipo aerofólio / João Manoel Torres Lobato. – São Luís, 2018.

39 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho.

1. Aleta. 2. Perfil. 3. Aerofólio. 4. Desempenho. I. Título.

CDU 621:536.24

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ALETAS  
DE PERFIL RETANGULAR E PERFIL  
TIPO AEROFÓLIO**

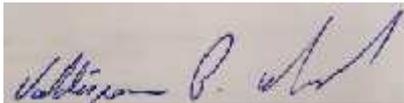
Autor: João Manoel Torres Lobato

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:



\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho**  
**Universidade Estadual do Maranhão**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes**  
**Universidade Estadual do Maranhão**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Me. Lourival Coelho Paixão**  
**Universidade Federal do Maranhão**

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 12 de Dezembro de 2018



## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Vagner de Jesus Santos Lobato e Tânia Maria Dias Torres Lobato



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde, fé e força para desenvolver o projeto de monografia.

Ao meu professor Lourival Matos de Sousa Filho, pelo apoio e ajuda em todas as fases de desenvolvimento da minha monografia e pelo aprendizado, sem você não conseguiria terminar de maneira digna.

Agradeço aos meus pais Vagner de Jesus Santos Lobato e Tânia Maria Dias Torres Lobato que continuaram sempre do meu lado nos momentos difíceis, e dando todo amor, carinho e paciência.

Agradeço meus amigos Cleidson Luis Silva Souza, Kassio Felipe da Costa Serra e Jorge Takamori Froes Chuman pelo apoio e seu bom-humor e orientação ao longo desses anos de curso de graduação.

Agradeço aos meus professores, mestres que tive ao longo da vida acadêmica que contribuíram para meu conhecimento.

Agradeço aos meus companheiros de graduação da UEMA que contribuíram para é a pessoa que sou hoje.



## RESUMO

As aletas se tornaram elementos indispensáveis para a tecnologia, elas estão presente em componentes de diversos tipos de sistemas, como por exemplo, em sistemas de refrigeração, sistemas elétricos e sistemas de arrefecimento em automóveis e motos de baixa cilindrada. A massiva utilização de tais componentes é justificada pela praticidade, baixo custo e fácil manuseio, pois em alguns casos, um simples componente de metal, fabricado majoritariamente a partir de um bom condutor térmico, é uma alternativa mais eficiente que bombas ou ventiladores, pois estes são equipamentos mais caros, pesados e ocupam maior espaço. O estudo do desempenho de aletas com perfil retangular e de aerofólio visa, por meio de simulações numéricas geradas no *software* ANSYS identificar aquele perfil mais vantajoso no que diz respeito a dissipação de calor. As aletas foram submetidas a três condições de contorno diferentes, nas quais a aleta com perfil de aerofólio obteve maior desempenho em duas.

**Palavras chaves:** Aleta, Perfil, Aerofólio, Desempenho.



## **ABSTRACT**

As series have become imperative for modern technology, they are present in their systems of types of systems, such as in refrigeration systems, electrical systems and cooling systems in engines and high displacement motors as car engines, heat exchangers to electronic components. The massive use of such components is justified by the practicality, low cost and easy handling, as in some cases, a simple metal component, manufactured mostly from a good thermal conductor, is a more efficient alternative than pumps or fans, because these are more expensive, heavy equipment and occupy more space. The study of the performance of its lugs with rectangular profile and airfoil looking for a more advantageous profile with respect to a heat dissipation and with this to expand even more possibilities of using aliases with the potential to fall of machines and equipment more heavy, expensive and complex.

**Key words:** Fin, Profile, Airfoil, Performance.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1-MODOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR: CONDUÇÃO, CONVECÇÃO, RADIAÇÃO .....	4
FIGURA 2.2-TRANSFERÊNCIA DE CALOR UNIDIMENSIONAL POR CONDUÇÃO.....	5
FIGURA 2.3-DESENVOLVIMENTO DA CAMADA-LIMITE NA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO .....	7
FIGURA 2.4-PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO. (A) CONVECÇÃO FORÇADA. (B) CONVECÇÃO NATURAL .....	8
FIGURA 2.5-ALETAS EM UM MOTOR DE MOTOCICLETA .....	10
FIGURA 2.6-ALETAS EM UMA SERPENTINA DE COBRE.....	10
FIGURA 2.7-ALETAS EM UMA SERPENTINA DE ALUMÍNIO .....	11
FIGURA 2.8-ALETAS EM UM RESISTOR DE 25W. ....	11
FIGURA 2.9-CONFIGURAÇÕES DE ALETAS.....	12
FIGURA 3.1-DESENHO TRIDIMENSIONAL DA ALETA DE PERFIL RETANGULAR .....	14
FIGURA 3.2-PERFIL NACA 0012.....	14
FIGURA 3.3-DESENHO TRIDIMENSIONAL DA ALETA DE PERFIL DE AEROFÓLIO.....	15
FIGURA 3.4-MALHA NA ALETA DE PERFIL RETANGULAR. ....	16
FIGURA 3.5-MALHA NA ALETA DE PERFIL DE AEROFÓLIO.....	16
FIGURA 4.1- ALETA RETANGULAR (CONVECÇÃO). ....	19
FIGURA 4.2- ALETA DE PERFIL DE AEROFÓLIO (CONVECÇÃO). ....	20
FIGURA 4.3-ALETA DE PERFIL RETANGULAR (CASO 2). ....	21
FIGURA 4.4- ALETA DE PERFIL DE AEROFÓLIO (CASO 2). ....	21
FIGURA 4.5- ALETA DE PERFIL RETANGULAR (CASO 3). ....	22
FIGURA 4.6- ALETA DE PERFIL DE AEROFÓLIO (CASO 3). ....	22
FIGURA 4.7-GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DA CONVECÇÃO NAS DUAS ALETAS.....	23
FIGURA 4.8-GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DA CONVECÇÃO NA PONTA DAS DUAS ALETAS. ....	24
FIGURA 4.9-GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA ESPECIFICADA NA PONTA DAS DUAS ALETAS. ....	24
FIGURA 4.10- VARIAÇÃO DO COEFICIENTE H. ....	25



## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 2.1- CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE ALGUNS MATERIAIS EM TEMPERATURA AMBIENTE..	6
TABELA 2.2- VALORES DE COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO..	8



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANSYS    Analysis System



## LISTA DE SIMBOLOS

$A$	Área [ $m^2$ ]
$h$	Coefficiente de transferência de calor por convecção [ $W/m^2 \cdot K$ ]
$k$	Condutividade térmica do material [ $W/m \cdot K$ ]
$Q_x$	Taxa de transferência de calor por condução na direção de $x$ [ $W$ ]
$Q_{conv}$	Taxa de transferência de calor por convecção [ $W$ ]
$q_x$	Fluxo de calor na direção de $x$ [ $W/m^2$ ]
$T_s$	Temperatura de superfície [ $^{\circ}C$ ]
$T_{\infty}$	Temperatura do fluido [ $^{\circ}C$ ]
$u_{\infty}$	Velocidade do fluido [ $m/s$ ]



## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Sumário .....</b>	<b>xxi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 GERAL .....	2
1.2.2 ESPECÍFICO .....	2
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 CONCEITOS GERAIS .....	3
2.2 CONDUÇÃO .....	4
2.3 CONVECÇÃO .....	6
2.4 ALETAS.....	9
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 MODELO TRIDIMENSIONAL .....	13
3.2 MALHAS .....	15
3.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	17
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>19</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Aleta é uma forma de extensão da área da superfície de algum objeto com o intuito de otimizar sua troca de calor com o ambiente, pois o calor será transferido do objeto para a aleta, por meio da condução, e da aleta para o meio devido a convecção. Essa é uma alternativa de incrementar a taxa de transferência de calor, outra maneira é aumentando o coeficiente de transferência de calor por convecção (coeficiente convectivo  $h$ ) forçando o aumento da velocidade ou reduzindo a temperatura do fluido adjacente à superfície do objeto por meio do uso de alguma máquina (bomba ou ventilador), porém, essa alternativa pode não ser prática ou até inviável em muitos casos, tornando as aletas, feitas de materiais altamente condutores, a melhor opção.

A condutividade térmica do material da aleta pode ter um grande efeito na distribuição de temperaturas ao longo da aleta e, conseqüentemente, influencia o nível de melhora da taxa de transferência de calor. Idealmente, o material da aleta deveria ter uma condutividade térmica elevada para minimizar variações de temperatura desde a sua base até a sua extremidade (INCROPERA; DEWITT, 2014).

Superfícies estendidas (aletas) são aplicadas em diversas áreas, alguns exemplos de aplicação são no radiador do carro, na unidade condensadora de ar condicionado, motores de motocicletas e no resfriamento de transformadores elétricos. No caso do radiador do carro as aletas se apresentam como várias folhas finas de metal colocadas nos tubos de água quente ampliando a superfície de convecção dos tubos para o ar.

Uma aplicação biológica de aletas digna de nota ocorreu na era jurássica, por volta de 150 milhões de anos. O *stegosaurus* possuía duas fileiras de grandes placas ósseas nas costas, através das quais o sangue fluía, e as mesmas refrigeravam o sangue.

Enquanto ao formato das aletas elas se apresentam em diversas configurações, de seção reta uniforme, seção transversal não uniforme, anular ou em forma de pino. Com base nesses fatos, este trabalho tem o objetivo de analisar, por meio de simulações computacionais, o desempenho de duas configurações de aletas e comparar seus resultados a fim de identificar aquele perfil que possui maior taxa de transferência de calor.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Motores térmicos, refrigeradores e circuitos elétricos são exemplos de sistemas que, devido o seu trabalho, ocorre uma produção de calor que deve ser dissipado de algum modo, caso contrário o calor excessivo danificará todos os componentes, por exemplo, no caso dos motores os pistões podem dilatar e obstruir os cilindros comprometendo todo o motor.

Aletas são usadas como solução para problemas com a dissipação de calor, pois elas são versáteis, econômicas e não ocupam muito espaço.

Levando em consideração que as aletas são a melhor opção, em muitos casos, para realizar a troca de calor com o meio ambiente e sendo de suma importância a dissipação de calor em sistemas térmicos e elétricos, a análise de perfis de aleta se justifica pela possibilidade se encontrar uma configuração que possui um rendimento maior que o rendimento de aletas convencionais, resultando numa troca de calor mais rápida e, dependendo do sistema, pode ocasionar numa economia de energia, evitar danos às peças mecânicas ou componentes elétricos.

## 1.2 OBJETIVOS

### *1.2.1 GERAL*

Simular e comparar o desempenho de uma aleta de seção retangular e uma aleta com perfil de aerofólio, com o intuito de identificar o modelo mais eficiente na dissipação de calor.

### *1.2.2 ESPECÍFICO*

- Simular, utilizando softwares, a transferência de calor nos dois perfis de aletas.
- Obter os resultados computacionais e compara-los.
- Gerar gráficos com valores obtidos anteriormente, para melhor comparação.
- Observar qual dos dois tipos de aleta teve maior desempenho na transferência de calor.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 CONCEITOS GERAIS

Em situações em que existir uma diferença de temperatura no interior de um sistema, ou que dois sistemas a diferentes temperaturas forem colocados em contato, ocorrem alterações das temperaturas entre os mesmos, tendendo ao equilíbrio, este processo é chamado de transferência de calor (MATTJIE; RISTOF, 2013).

A diferença de temperatura é a força motriz da transferência de calor, assim como a diferença de potencial elétrico é a força motriz da corrente elétrica, e a diferença de pressão, a força motriz para escoamento de fluidos. A taxa de calor transferido em dada direção depende da magnitude do gradiente de temperatura (diferença de temperatura por unidade de comprimento ou taxa de variação da temperatura) na mesma direção. Quanto maior o gradiente de temperatura, maior a taxa de transferência de calor (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Os diferentes tipos de processos de transferência de calor podem ser referidos como modos (Figura 2.1).

Quando existe um gradiente de temperatura em um meio, que pode ser um sólido ou um fluido, utiliza-se o termo condução para se referir à transferência de calor que irá ocorrer através do meio. Em contraste, o termo convecção se refere à transferência de calor que irá ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento, quando estes se encontram em temperaturas diferentes. O terceiro modo de transferência de calor é conhecido por radiação térmica. Toda a superfície a uma temperatura absoluta não nula emite energia na forma de ondas eletromagnéticas. Assim, mesmo na ausência de um meio que as interponha, existe transferência de calor por radiação entre duas superfícies que se encontram a diferentes temperaturas (INCROPERA; DEWITT, 2014).

Em problemas de superfícies estendidas (aletas) os mecanismos de transferência de calor mais comuns são a condução e a convecção, justificando assim o foco deste trabalho nesses dois modos.

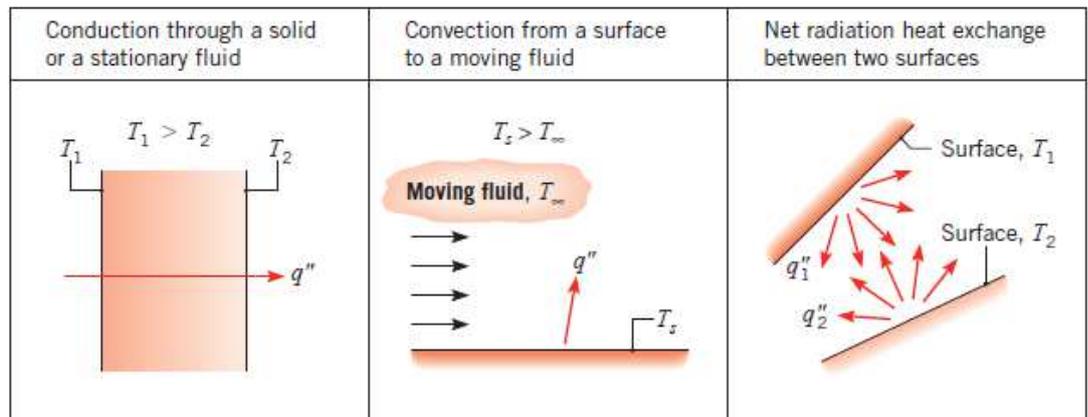


Figura 2.1 - Modos de transferência de calor: condução, convecção, radiação  
(Adaptado de INCROPERA; DEWITT, 2014).

## 2.2 CONDUÇÃO

Condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas. A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases. Em líquidos e gases, a condução deve-se às colisões e difusões das moléculas em seus movimentos aleatórios. Nos sólidos, ela acontece por causa da combinação das vibrações das moléculas em rede, e a energia é transportada por elétrons livres. (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Processos de transferência de calor podem ser quantificados através de equações de taxa apropriadas. Essas equações podem ser usadas para calcular a quantidade de energia sendo transferida por unidade de tempo. Para a condução térmica, a equação da taxa é conhecida como lei de Fourier. (INCROPERA; DEWITT, 2014).

Tomando como base uma parede plana unidimensional (Figura 2.2) com uma distribuição de temperaturas  $T(x)$ , a equação de Fourier é dada por:

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

ou

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

onde:

$Q_x$  = Taxa de transferência de calor na direção x (W)

$q_x$  = Fluxo de calor na direção de x (W/m<sup>2</sup>)

$k$  = Condutividade térmica do material (W/m<sup>2</sup> °C)

$A$  = Área perpendicular ao fluxo (m<sup>2</sup>)

$\frac{dT}{dx}$  = Gradiente de temperatura (°C/m).

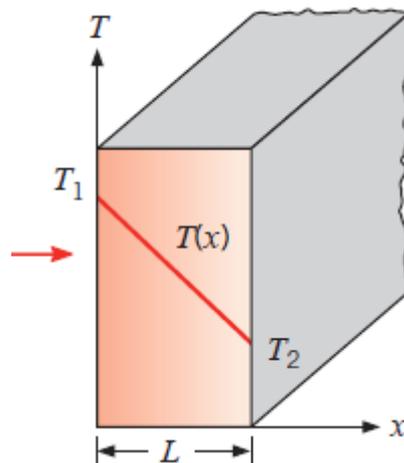


Figura 2.2 - Transferência de calor unidimensional por condução  
(Adaptado de INCROPERA; DEWITT, 2014).

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a condutividade térmica de um material pode ser definida como a taxa de transferência de calor por meio de uma unidade de comprimento de um material por unidade de área por unidade de diferença de temperatura. A condutividade térmica de um material é a medida da capacidade de o material conduzir calor.

A Tabela 2.1 apresenta as condutividades de térmicas de alguns materiais comuns em temperatura ambiente. Nos casos que envolvem aletas a condutividade térmica do material possui uma grande relevância, pois essa influenciará a distribuição de temperatura ao longo da aleta e, conseqüentemente, a taxa de transferência de calor, com isso, dependendo do material a

ser selecionado haverá um aumento na taxa de transferência de calor, assim, minimizando a diferença de temperatura entre a base e a extremidade da aleta.

Tabela 2.1 – Condutividade térmica de alguns materiais em temperatura ambiente (Adaptado de ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

<b>Material</b>	<b>k, W/m.K</b>
Diamante	2.300
Prata	429
Cobre	401
Ouro	317
Alumínio	237
Ferro	80,2
Mercúrio	8,54
Vidro	0,78
Tijolo	0,72
Água	0,607
Pele humana	0,37
Madeira (carvalho)	0,17
Hélio	0,152
Borracha macia	0,13
Fibra de vidro	0,043
Ar	0,026
Uretano, espuma rígida	0,026

### 2.3 CONVECÇÃO

Convecção é modo de transferência de energia entre a superfície sólida e a líquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido. Quanto mais rápido for o movimento do fluido, maior será a transferência de calor por convecção. Na ausência de qualquer movimento da massa de fluido, a transferência de calor entre a superfície sólida e o fluido adjacente se dá por pura condução (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Uma consequência da interação entre o fluido e a superfície é o desenvolvimento de uma região no fluido através da qual a sua velocidade varia entre zero, no contato com a superfície

( $y = 0$ ), e um valor finito  $u_\infty$ , associado ao escoamento. Essa região do fluido é conhecida por camada-limite hidrodinâmica ou de velocidade (INCROPERA; DEWITT, 2014).

De acordo Maia (2011), da mesma forma que há a formação de uma camada limite fluidodinâmica no escoamento de um fluido sobre uma superfície, uma camada limite térmica deve se desenvolver se houver uma diferença entre as temperaturas do fluido na corrente livre e na superfície. Considere o escoamento sobre uma placa plana isotérmica mostrada na Figura 2.3.

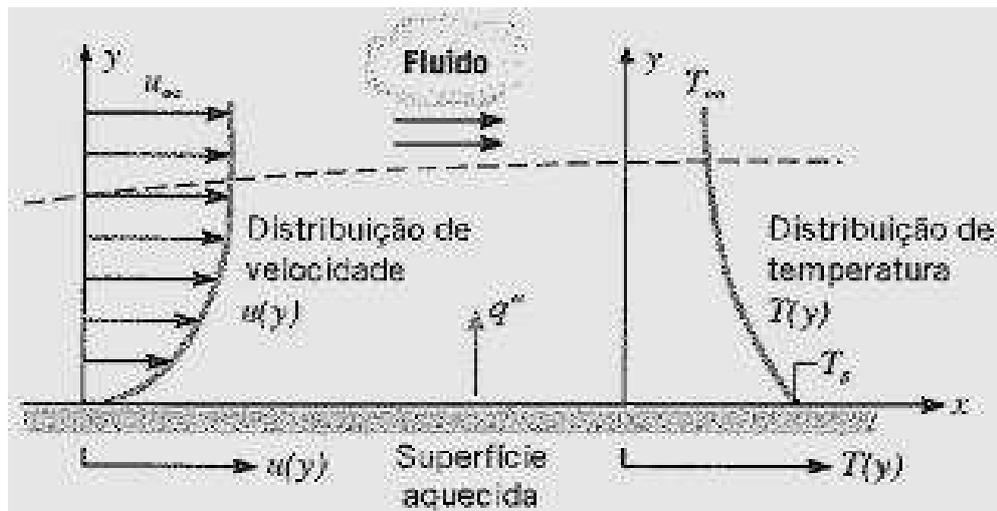


Figura 2.3 – Desenvolvimento da camada-limite na transferência de calor por convecção (Adaptado de INCROPERA; DEWITT, 2014).

A convecção é chamada convecção forçada se o fluido é forçado a fluir sobre a superfície por meios externos, como ventiladores, bomba ou vento (Figura 2.4a). Em contrapartida, a convecção é chamada convecção natural (ou livre) se o movimento do fluido é causado por forças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, decorrentes da variação da temperatura no fluido (Figura 2.4b) (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

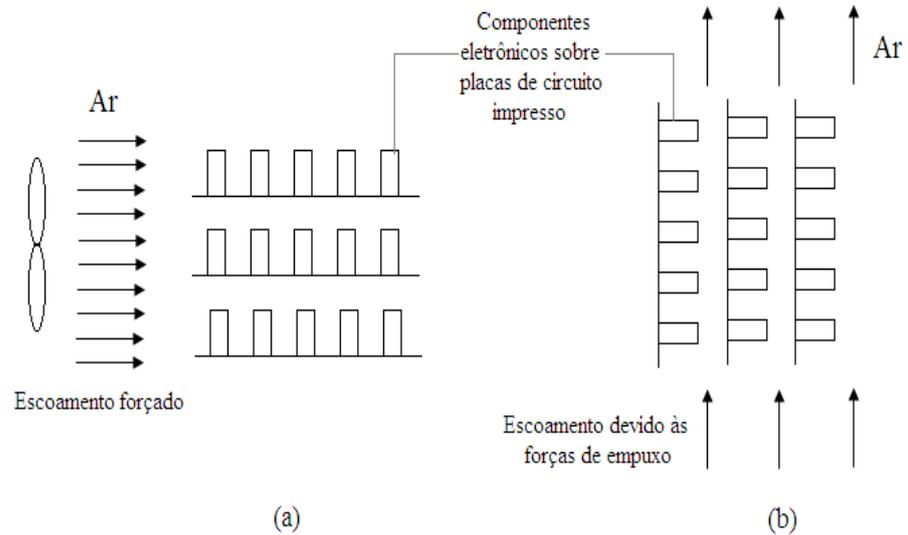


Figura 2.4 – Processos de transferência de calor por convecção. (a) Convecção forçada. (b) Convecção natural (Adaptado de MAIA, 2011).

Segundo Incropera e Dewitt (2014), independentemente da natureza do processo de transferência de calor por convecção, a equação apropriada para a taxa de transferência é expressa pela lei de Newton do resfriamento

$$Q = h \cdot A(T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

onde:

$Q_{\text{conv}}$  = Taxa de transferência de calor por convecção (W)

$h$  = Coeficiente convectivo de calor ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$T_s$  = Temperatura da superfície

$T_\infty$  = Temperatura do fluido

O coeficiente de transferência de calor por convecção  $h$  não é uma propriedade do fluido. Trata-se de um de um parâmetro determinado experimentalmente, cujo valor depende de todas as variáveis que influenciam a convecção, como geometria da superfície, natureza do movimento do fluido, propriedades do fluido e velocidade da massa de fluido. Valores típicos de  $h$  são apresentados na Tabela 2.2 (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Tabela 2.2 – Valores típicos de coeficiente de transferência de calor por convecção (Adaptado de ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Tipo de convecção	$h$ , W/m <sup>2</sup> .K
Convecção livre de gases	2-25
Convecção livre de líquidos	10-1000
Convecção forçada de gases	25-250
Convecção forçada de líquidos	50-20000
Ebulição e condensação	2500-100000

## 2.4 ALETAS

Como já foi dito anteriormente uma aleta pode ser definida como uma superfície que se estende a partir de um determinado objeto, aumentando a área de transferência de calor e, conseqüentemente, a taxa de transmissão através do aumento da convecção (MATTJIE; RISTOF, 2013). É um método de aumento da eficiência da troca de calor. São amplamente utilizadas em motores (Figura 2.5), trocadores de calor (Figuras 2.6 e 2.7) e em componentes de circuitos elétricos (Figura 2.8).

Segundo Chang e Wang (1997), para melhorar o desempenho térmico dos trocadores de calor refrigerados a ar é necessário reduzir a elevada resistência térmica do ar. Assim, utilizam-se superfícies estendidas (como as aletas), pois essas superfícies aumentam a taxa de transferência de calor.

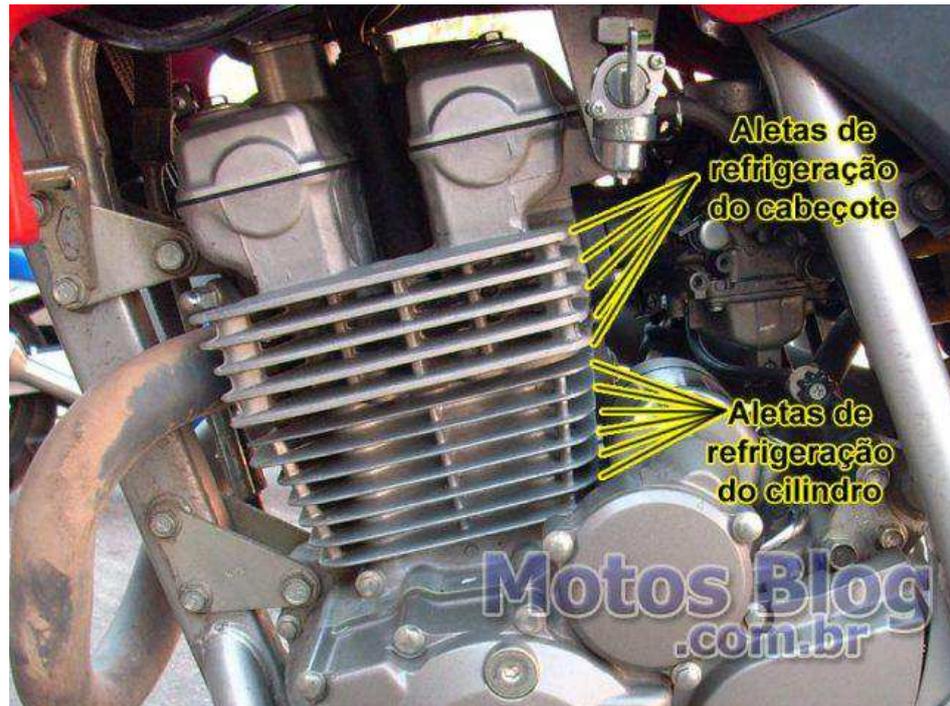


Figura 2.5 – Aletas em um motor de motocicleta (Adaptado de Motos Blog, 2010).



Figura 2.6 – Aletas em uma serpentina de cobre (Adaptado de <https://climatizacaolumertz.com.br/2017/06/02/o-que-e-serpentina>, 2018).

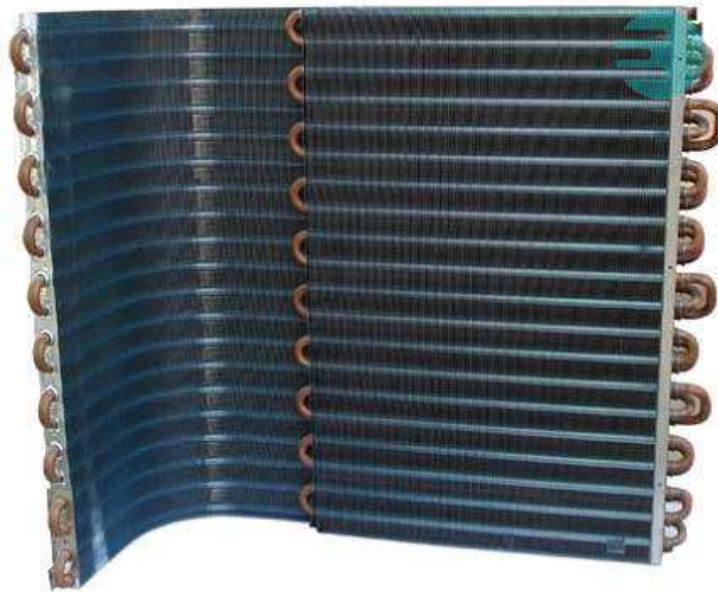


Figura 2.7 – Aletas em uma serpentina de alumínio (Adaptado de <https://climatizacaolumertz.com.br/2017/06/02/o-que-e-serpentina>, 2018).

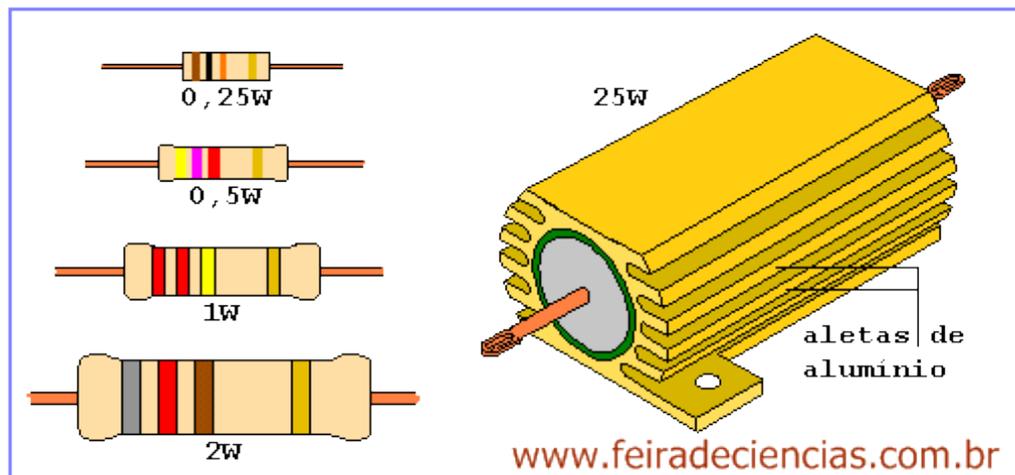


Figura 2.8 – Aletas em um resistor de 25W (Adaptado Feira de Ciências, 2018).

Existem inúmeras configurações de aletas, alguns exemplos são aleta plana, uma superfície estendida fixa em uma parede, podendo se apresentar com seção transversal uniforme (Figura 2.9a) ou variando ao longo (Figura 2.9b) da distância  $x$ . Aleta anular (Figura 2.9c), fixada radialmente em um cilindro, aleta piniforme (Figura 2.9d) ou pino, superfície estendida com área de seção transversal circular podendo ser uniforme ou não.

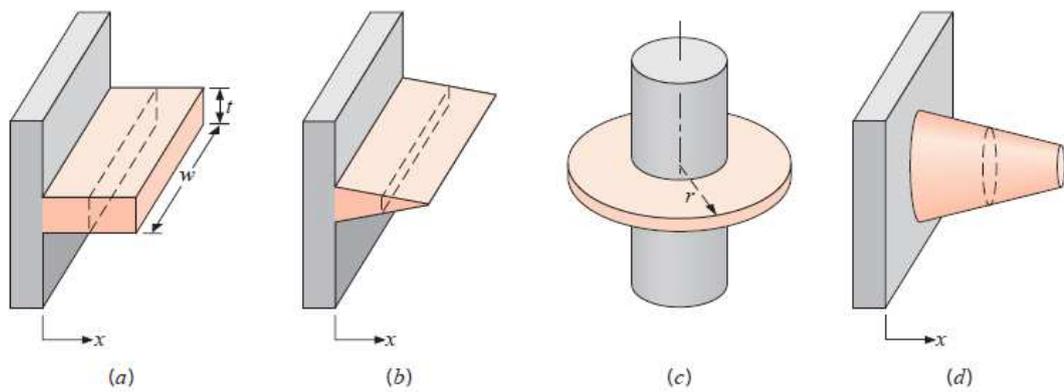


Figura 2.9 – Configurações de aletas (Adaptado de INCROPERA; DEWITT, 2014).

Em qualquer aplicação, a seleção de uma determinada configuração de aletas pode depender de considerações de espaço, de peso de fabricação e custo, bem como da extensão na qual as aletas reduzem o coeficiente convectivo na superfície e aumentam a queda de pressão associada ao escoamento sobre as aletas (INCROPERA; DEWITT, 2014).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os objetos de estudo e os métodos utilizados para a realização do trabalho. Em primeiro lugar, foi colhido algumas informações através da internet a respeito do tema em questão, em seguida, procurou-se documentos bibliográficos para dar sustentação da teórica, além do uso de softwares para simulação computacional e obtenção e tratamento dos resultados.

Primeiramente foram selecionados dois perfis de aletas, um mais convencional, um perfil retangular e o outra um perfil de aerofólio, ambos foram submetidos a certas condições de contorno afim de assegurar resultados mais confiáveis e satisfatórios. O *software* ANSYS foi escolhido por dispor de um amplo ferramental que se mostrou suficiente em todas as etapas desde o desenho, passando pela criação das malhas computacionais até a obtenção dos resultados finais.

A segunda etapa foi a criação de modelos tridimensionais utilizando a ferramenta de desenho do ANSYS, ambos modelos com as mesmas dimensões.

#### 3.1 MODELO TRIDIMENSIONAL

A duas aletas foram extrudadas a partir de uma placa quadrada (base da aleta) de 100mm x 100mm de dimensão, o perfil retangular tem um comprimento de 50mm, altura de 2mm e profundidade de 100mm (Figura 2.8).

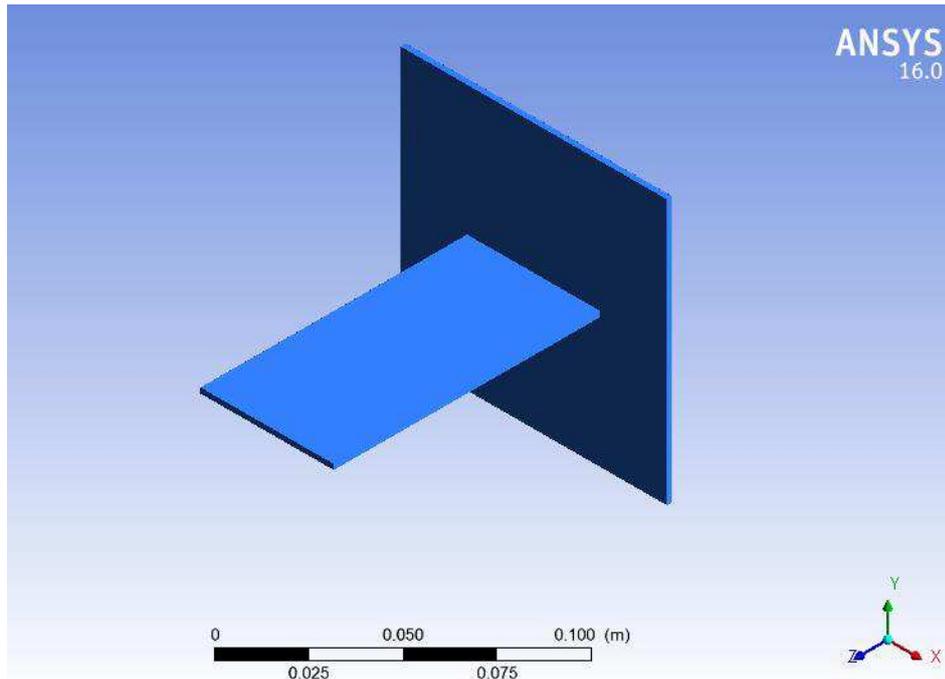


Figura 3.1 – Desenho tridimensional da aleta de perfil retangular.

Fonte: Autor

Para a aleta de perfil de aerofólio foi selecionado o perfil NACA 0012 (Figura 3.2), esse perfil de aerofólio foi escolhido em razão de sua simetria. Da mesma forma da aleta anterior, o perfil com um comprimento de corda 50mm foi extrudado a partir de uma base.

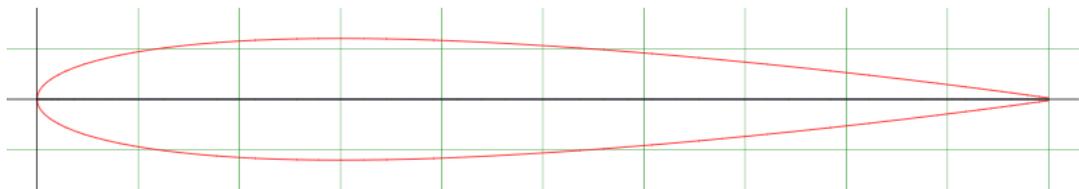


Figura 3.2– Perfil NACA 0012 (Adaptado de AIRFOILTOOLS, 2018).

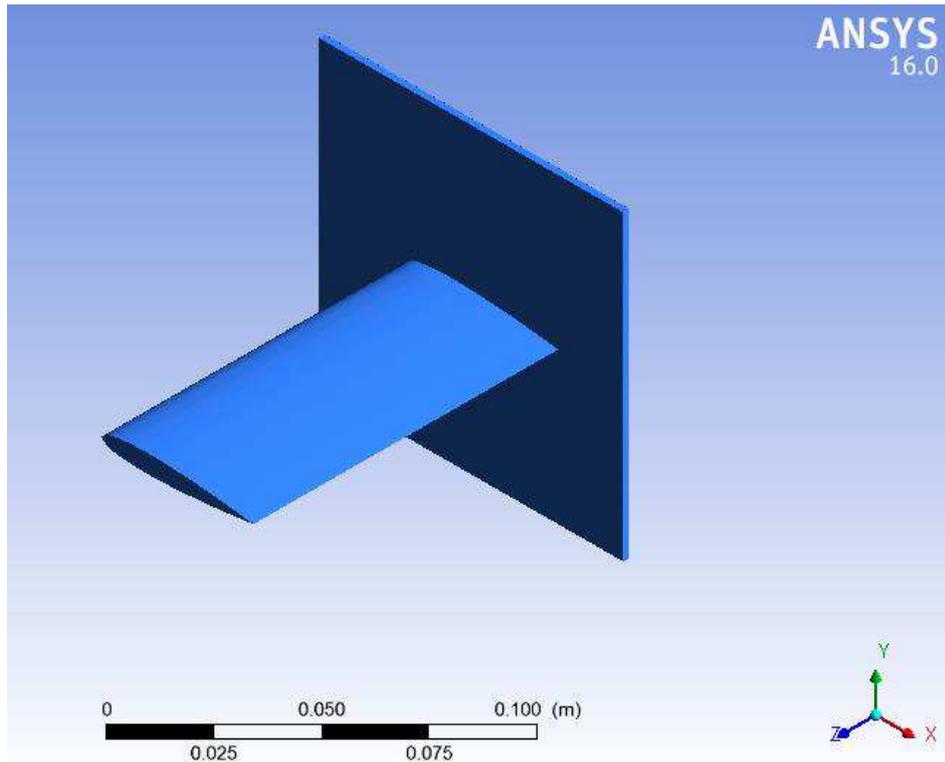


Figura 3.3 – Desenho tridimensional da aleta de perfil de aerofólio.

Fonte: Autor

## 3.2 MALHAS

A etapa seguinte foi a criação das malhas computacionais usando a ferramenta ANSYS Meshing, para uma maior precisão foi necessário refinar a malha, foi escolhido o método Hex Dominant que permitiu a possibilidade de selecionar elementos quadrangulares de tamanho 2,5mm (Figuras 3.4 e 3.5).

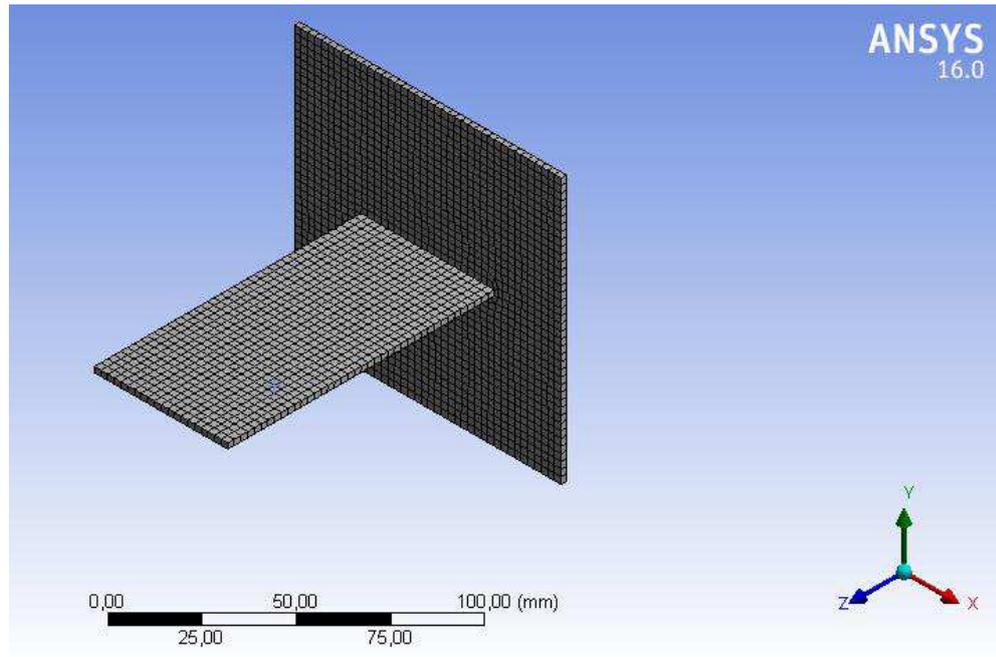


Figura 3.4 – Malha na aleta de perfil retangular.

Fonte: Autor

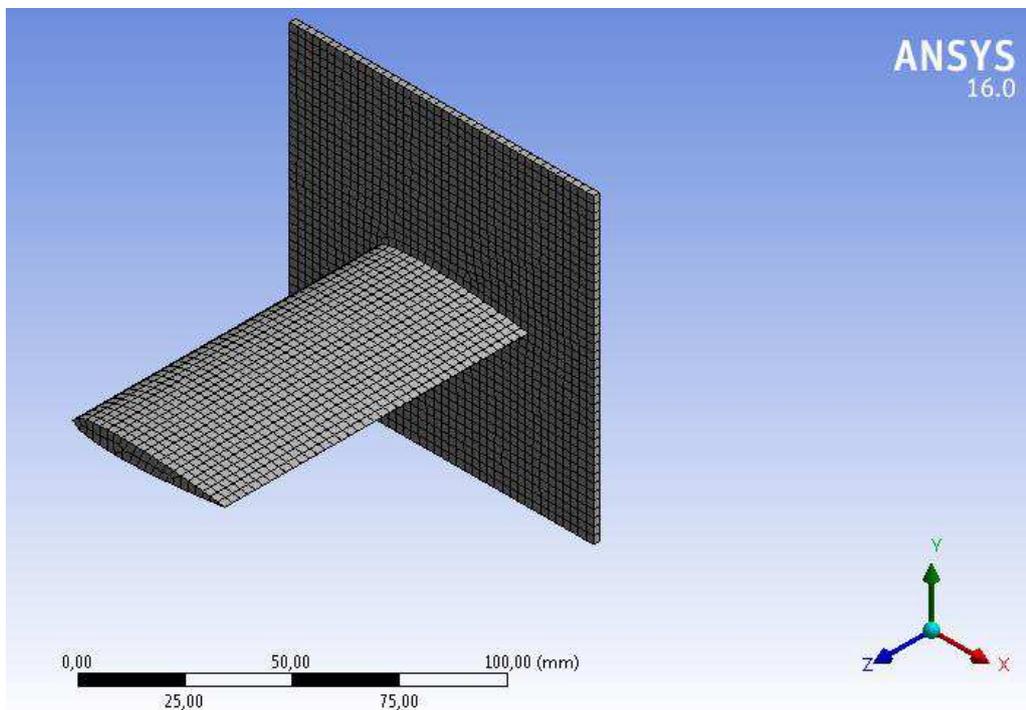


Figura 3.5 – Malha na aleta de perfil de aerofólio.

Fonte: Autor

### 3.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Nessa etapa foi definido todos os parâmetros de transferência de calor como regime permanente e convecção forçada. O material da aleta foi definido como alumínio, pois esse é o mais usado na fabricação de aletas, o fluido, o ar, a temperatura ambiente (30° C) e a base da aleta com temperatura de 80° C. Para melhor comparação entre os perfis foi definido três casos:

#### Caso 1 - Convecção em toda a aleta

1. Regime permanente
2. Condução unidimensional ao longo da aleta
3. Temperatura uniforme na seção transversal
4. Propriedades constantes
5. Coeficiente convectivo uniforme ( $h = 100$ )
6. Convecção forçada
7. Sem geração de calor

#### Caso 2 - Convecção na ponta da aleta

1. Regime permanente
2. Condução unidimensional ao longo da aleta
3. Temperatura uniforme na seção transversal
4. Propriedades constantes
5. Coeficiente convectivo uniforme ( $h = 100$ )
6. Convecção forçada
7. Sem geração de calor

### Caso 3 - Temperatura especificada na ponta da aleta

1. Regime permanente
2. Condução unidimensional ao longo da aleta
3. Temperatura uniforme na seção transversal
4. Propriedades constantes
5. Coeficiente convectivo uniforme ( $h = 100$ )
6. Convecção forçada
7. Sem geração de calor

O valor do coeficiente de convecção  $h$  foi definido baseado nos valores apresentados na Tabela 2.2, pois em todos os casos a convecção é forçada, o fluido é o ar, com isso o  $h$  tem um intervalo de 25-250. Nos caso 2 e 3 a aleta está isolada com exceção da ponta, onde ocorre convecção com o ar a temperatura de 30° C, no caso 2, e no caso 3 a ponta está a uma temperatura de 30° C.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações computacionais feitas no *software* ANSYS se mostram inconclusivas, sendo necessário observar o comportamento dos três casos por meio de gráficos e observar o comportamento de um ponto fixo nas duas aletas variando o coeficiente de convecção  $h$ . No caso 1 (Convecção), a distribuição de temperatura de ambas aletas se mostrou quase indiferente com a relação à mudança de perfil (Figura 4.1 e 4.2).

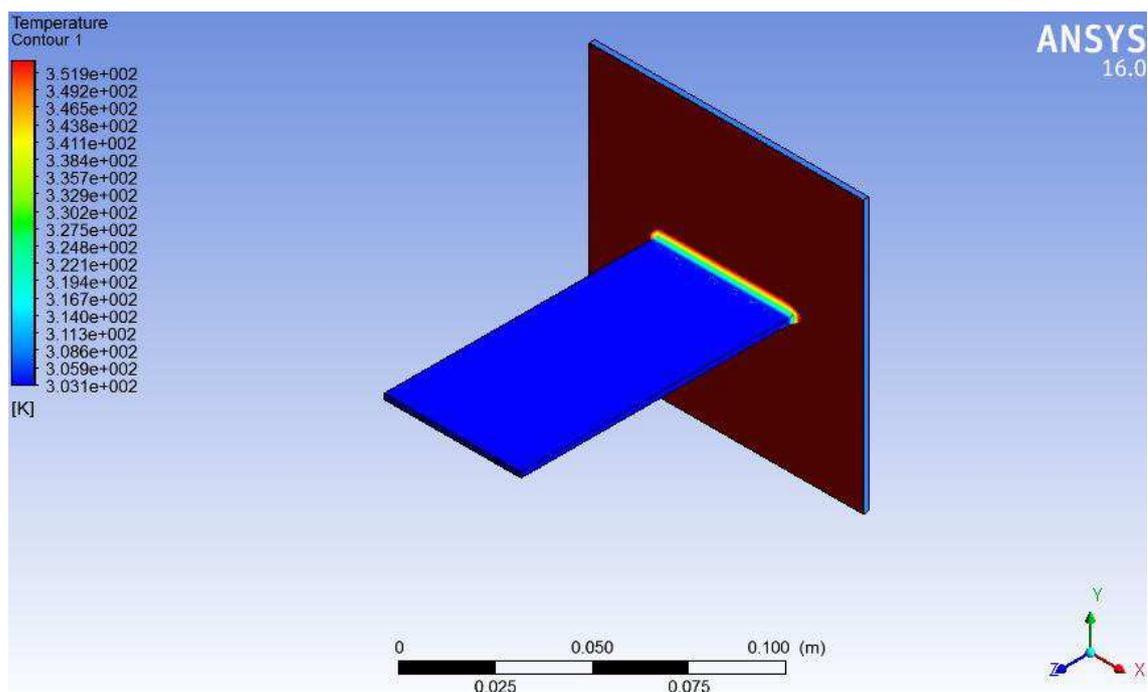


Figura 4.1 – Aleta retangular (Convecção)

Fonte: Autor

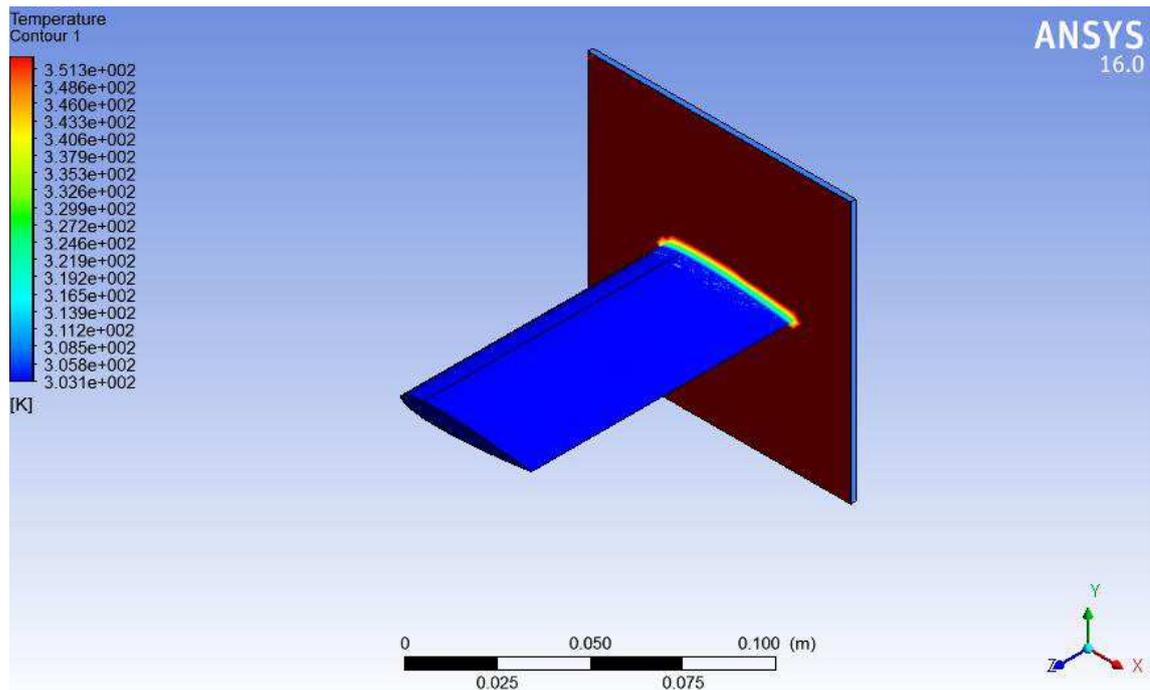


Figura 4.2 – Aleta de perfil de aerofólio (Convecção)

Fonte: Autor

Com relação aos casos 2 e 3 a diferença entre da distribuição de temperatura entras as aletas é mais perceptível, onde a aleta com perfil de aerofólio se mostra mais eficiente na dissipação de calor, mas ainda não o suficiente para uma resposta conclusiva, pois ainda é necessário saber, quantitativamente, se a diferença é significativa.

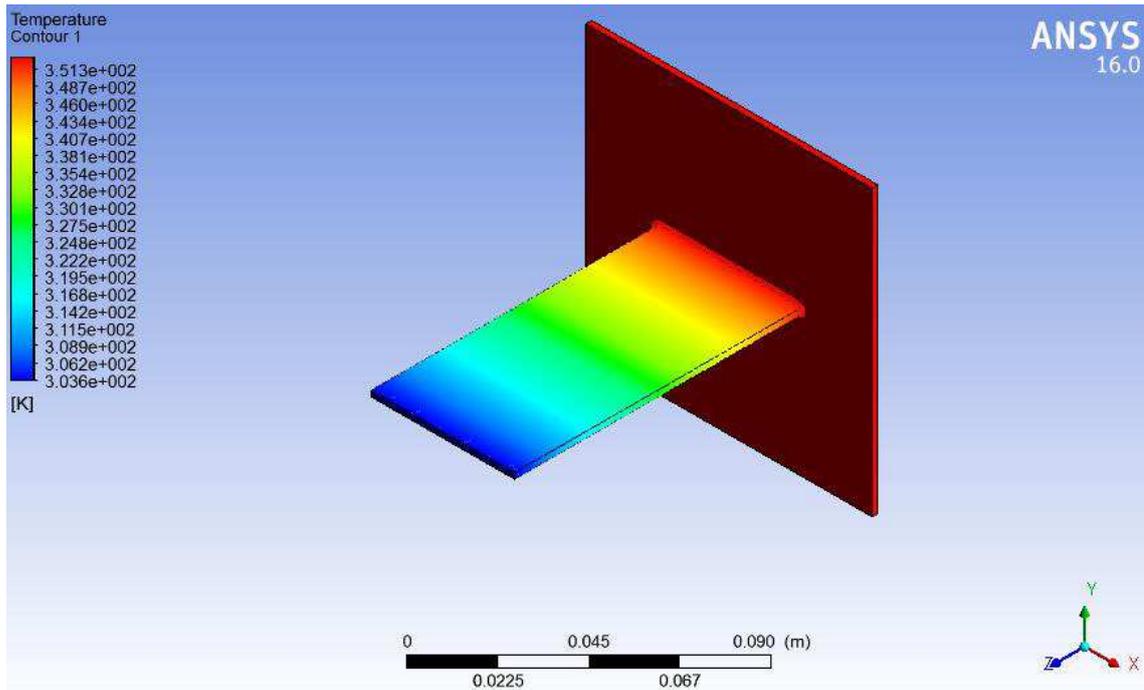


Figura 4.3 – Aleta de perfil retangular (Caso 2)

Fonte: Autor

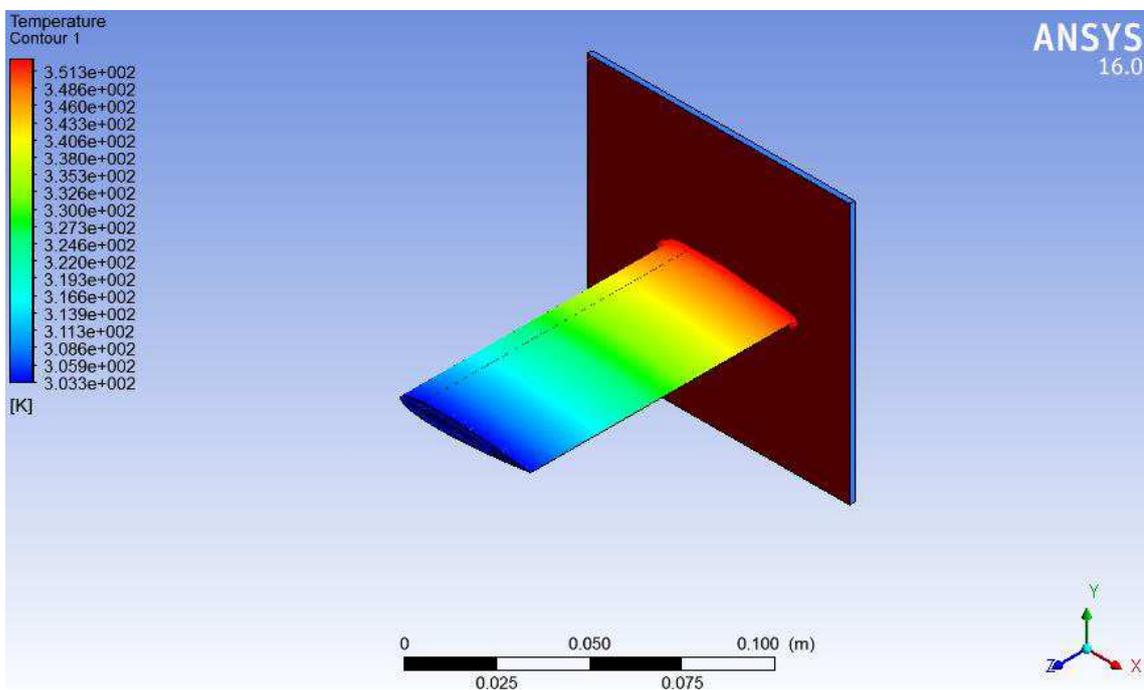


Figura 4.4 – Aleta de perfil de aerofólio (Caso 2)

Fonte: Autor

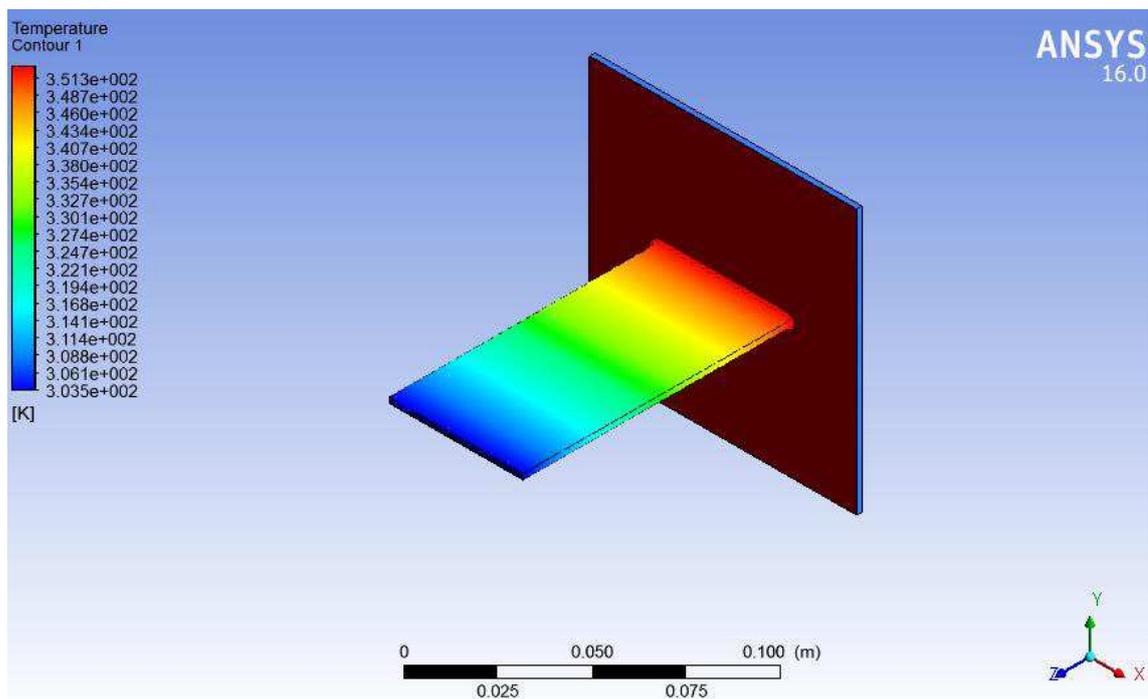


Figura 4.5 – Aleta de perfil retangular (Caso 3)

Fonte: Autor

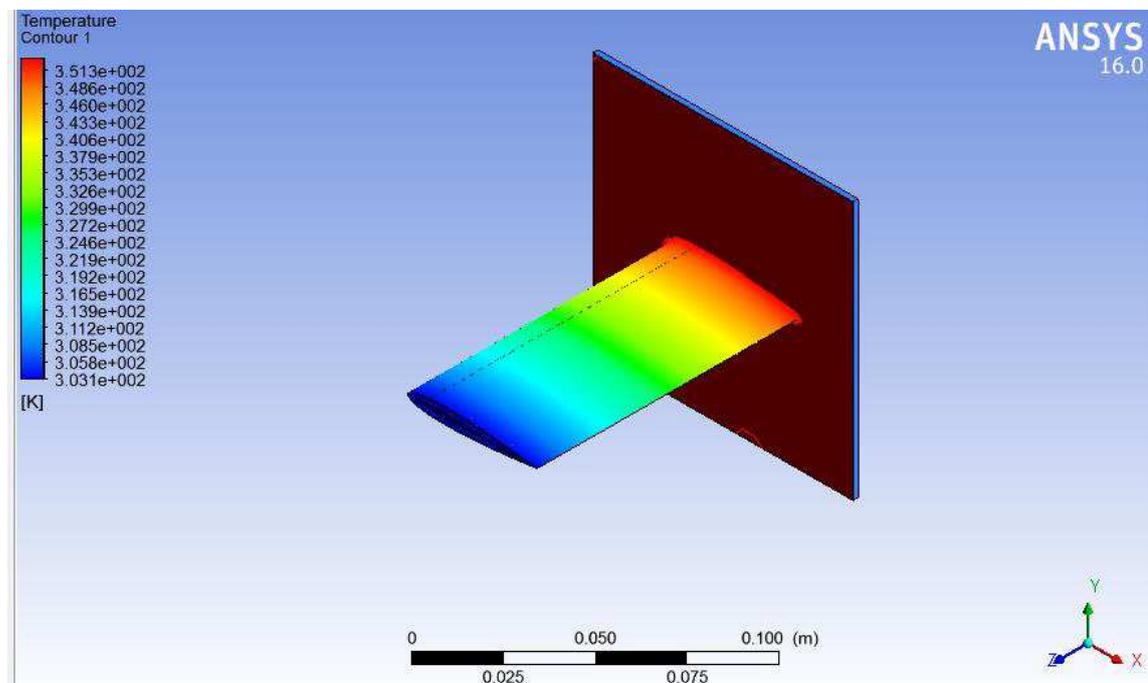


Figura 4.6 – Aleta de perfil de aerofólio (Caso 3)

Com o ANSYS foi possível obter pontos no interior das aletas e com isso, por meio do software Microsoft Excel, foi possível gerar gráficos de distribuição de temperatura por comprimento, onde foi possível, quantitativa e analiticamente, observar o comportamento das aletas nos três casos. No caso da convecção (Figura 4.7) aleta de perfil retangular mostrou maior desempenho após uma faixa temperatura

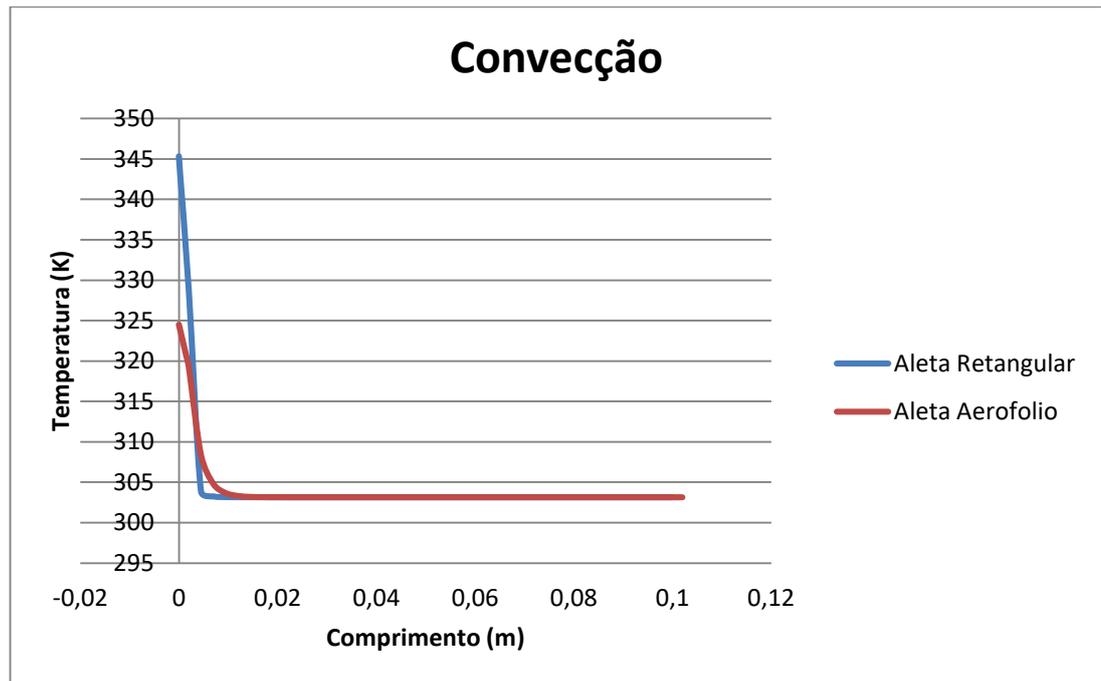


Figura 4.7 – Gráfico de comparação da convecção nas duas aletas.

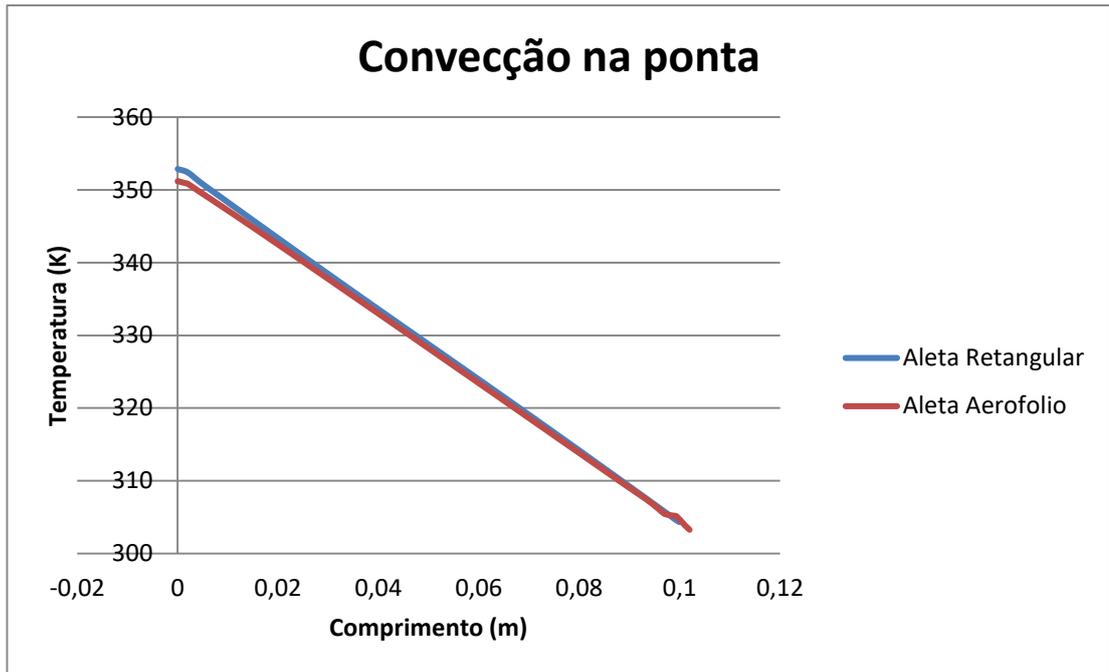


Figura 4.8 – Gráfico de comparação da convecção na ponta das duas aletas.

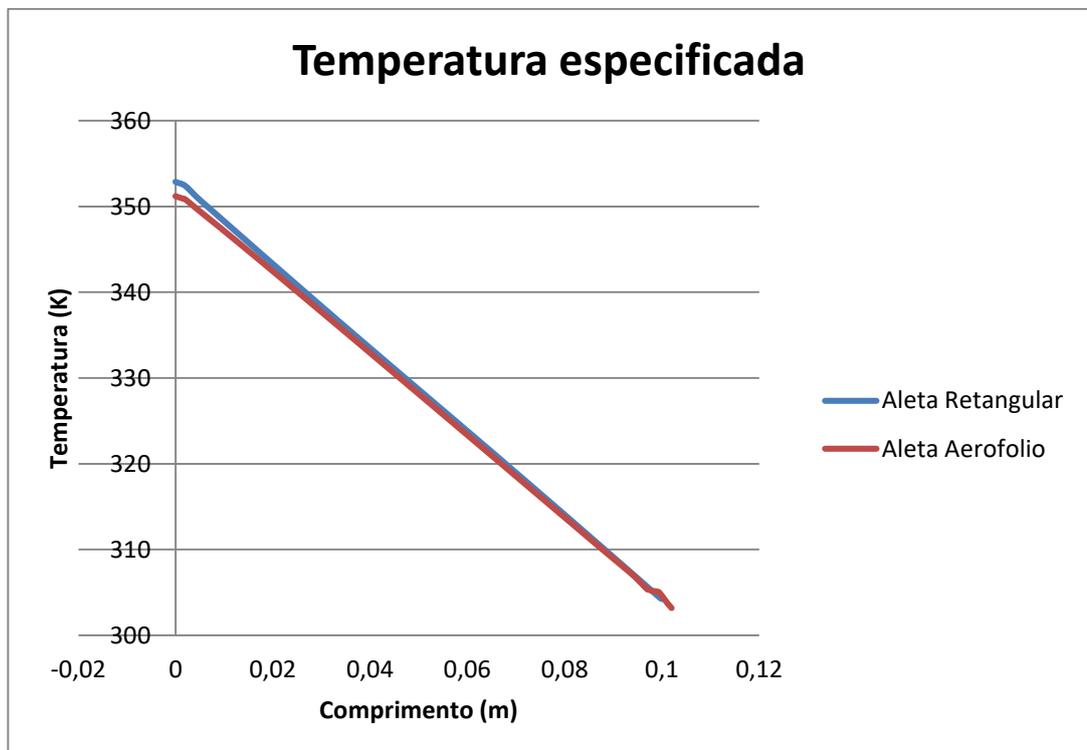


Figura 4.9 – Gráfico de comparação da temperatura especificada na ponta das duas aletas.

O último gráfico (Figura 4.10) foi gerado a partir do caso 2 (convecção na ponta) e de um ponto fixo no interior das duas aletas, onde o coeficiente de convecção variou de 25 até 250, intervalo esse que corresponde ao caso de convecção forçada, e com isso foi gerada uma distribuição de temperatura para ambas aletas, ainda assim a pequena diferença de temperatura entre os dois perfis se manteve.

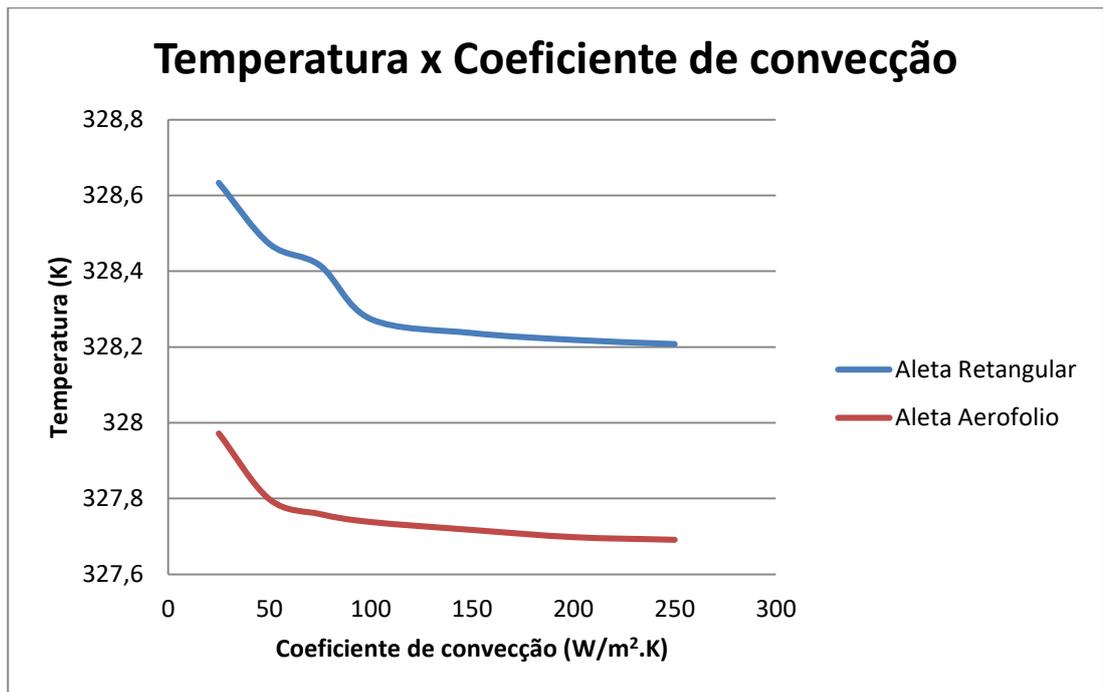


Figura 4.10 – Variação do coeficiente h.

## 5 CONCLUSÃO

Os perfis aqui apresentados foram submetidos a três casos distintos de condições de contorno, em que em dois deles a aleta com perfil de aerofólio obteve um maior desempenho em relação a aleta de com perfil retangular, casos 2 e 3, porem deve-se ressaltar que a simulação computacional feita no *software* ANSYS não foi suficiente, pois em alguns casos as diferenças de temperaturas avaliadas entra as duas aletas eram muito pequenas.

Somente com os gráficos foi seguro afirmar o melhor desempenho da aleta com perfil de aerofólio, ainda que a diferença não tenha sido tão significativa nos casos de convecção na ponta das aletas e temperatura especificada. Na situação da convecção a aleta de perfil retangular obteve maior desempenho, o gráfico mostrou que a aleta com perfil de aerofólio teve uma distribuição de temperatura mais suave, em relação ao outro perfil. Na análise do gráfico da variação do coeficiente  $h$ , a aleta com perfil de aerofólio se manteve mais eficiente que a de perfil retangular, porém novamente com uma pequena diferença entre as temperaturas.

Em suma a aleta com perfil de aerofólio apresentou maior desempenho que a aleta de perfil retangular, porém dependendo das condições de contorno aplicadas no caso, as diferenças de temperaturas entre os perfis não sejam tão significativas.

## REFERÊNCIAS

- AIRFOIL TOOLS. NACA 0012. **airfoiltools**, 2018. Disponível em: <<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n0012-il>>. Acesso em: 20 nov. 2018
- ABRAHÃO, Pedro B.; SUSIN, Maurício; BARROS, Gustavo; LUZ, JOSÉ R. **Estudo do comportamento e desempenho de aleta tipo pino**. 2007. Relatório de Trabalho de conclusão - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível no site<<http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2007/lusa.pdf>>
- CHANG, Yu-juei; WANG, Chi-chuan. A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry. **International Journal Of Heat And Mass Transfer**, v.40, n.6, p. 533-544, 1997.
- ÇENGEL, YUNUS A.; GHAJAR, AFSHIN J. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem Prática**. São Paulo: Mc Graw Hill, 2012. 905p.
- HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. 1st. ed. New York: McGrawHill, Inc, 1988.
- INCROPERA, FRANK P.; DEWITT, DAVID P.; BERGMAN, THEODORE L.; LAVINE, ADRIENNE S. **Fundamentos da Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos, 2014. 645p.
- JUNIOR, Jorge B.; PASQUOTTO, Lucas G.; BURGER, Vicente S. **Análise da eficiência da dissipação de calor em aletas com ventilação natural e ventilação forçada**. 2007. Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.
- KRUBNIKI, Larissa R.; FREITAS, Vanessa P. **Análise da influência da geometria em um trocador de calor compacto tubo-aleta através de simulação**. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MAIA, CRISTINA BRASIL. **Fenômenos de Transporte**. 02/2011. Apostila

MATTJIE, Clovis A.; RISTOF, Renato. **Dimensionamento de um trocador de calor para resfriamento de fluido em um circuito hidráulico utilizado em uma plantadeira**. 2013. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade Horizontina, Horizontina.