

MICHEL BARONE

PROJETO DE ARREFECIMENTO DE PROCESSADORES POR
SISTEMA DE *WATER-COOLING* COM PASTILHA DE PELTIER

São Paulo

2010

MICHEL BARONE

PROJETO DE ARREFECIMENTO DE PROCESSADORES POR
SISTEMA DE *WATER-COOLING* COM PASTILHA DE PELTIER

Trabalho de formatura apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Área de concentração: Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Emílio Carlos Nelli Silva

São Paulo

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Barone, Michel

Projeto de arrefecimento de processadores por sistema de water-cooling com pastilha de Peltier / M. Barone. -- São Paulo, 2010.

52 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Refrigeração 2. Simulação 3. Termoeletricidade 4. Método dos elementos finitos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II. t.

Resumo

Os processadores possuem atualmente um empecilho ao seu desenvolvimento. As frequências cada vez maiores que permitem um poder de processamento mais rápido, essencial para a vida moderna, geram paralelamente uma quantidade significativa de calor dentro dos mesmos. Vários métodos de arrefecimento foram desenvolvidos para contornar o problema, um destes é a água, que por ser de fácil acesso, tornou-se o fluido principal do chamado *water-cooling*, resfriamento a água. No entanto, método tradicional de resfriamento via convecção forçada pelo ar continua sendo o mais comum, apesar do seu baixo teor de absorção de energia térmica, em relação a outros fluidos. Em prol do desenvolvimento de um sistema com temperatura mais baixa do processador, será adicionada ao sistema de *water-cooling* convencional a tecnologia de termo-eletricidade, mais especificamente com pastilhas de Peltier, que sugam o calor de um lado e o rejeitam no outro graças ao efeito com mesmo nome. Simulações computacionais realizadas no software Ansys serão comparadas com resultados obtidos em testes práticos. Estes serão obtidos a partir de um protótipo de elementos descritos anteriormente (*water-cooling* e placa de Peltier) sobre um processador funcionando em ocioso e sob estado de estresse. Será feito a comparação de temperaturas de operação com o sistema comum a ar.

Abstract

The CPUs currently possess a drawback to its development. The higher clocks that allow faster processing, essential for modern life, also generate a significant amount of heat. Some methods of cooling have been developed to bypass the problem; one of these is based on water, which, due to easy access, became the main fluid of the so-called water-cooling. However, traditional method of cooling through forced air convection continues as the most common method of cooling, even though it has low absorption of thermal energy, when compared to other fluids. In order to develop a system with lower CPU temperature, the thermo-electric technology will be added to the conventional system of water-cooling with tablets of Peltier, which draw the heat of one side and reject it in the other, thanks to the effect with same name. Computational simulations will be run in Ansys software and will be compared to results from practical tests. These will be obtained from a prototype of the previously described elements (water-cooling and Peltier tablet), on a processor functioning in idle and under state of stress. There will be a comparison of the operating temperatures with the common air system.

Lista de figuras

Figura 1 - Waterblock de CPU da Watercooling [13].	12
Figura 2 - Radiador da Watercooling [13].	13
Figura 3 - Reservatório de 75 ml da Watercooling [13].	13
Figura 4 - Sistema de Water-cooling completo com waterblock, reservatório, bomba e radiador [13].	14
Figura 5 - WC-601 da Evercool [14].	15
Figura 6 - SC-30-1012 da Custom Thermoelectric [15].	15
Figura 7 - Sistema Peltier acoplado a dissipador e ventoinha.	17
Figura 8 – Sistema da figura 7 com a placa de Peltier acoplada ao processador.	18
Figura 9 - Placa de Peltier em ocioso (a) e em estresse (b).	18
Figura 10 – Efeito Peltier entre dois pares de semicondutores [11].	21
Figura 11 – Placa de Peltier [11].	23
Figura 12 - Esquema térmico da placa de Peltier.	24
Figura 13 - Esquema do sistema proposto.	26
Figura 14 - Fluxograma da metodologia de análise.	27
Figura 15 - Esquema dos projetos do waterblock e do radiador no Workbench.	28
Figura 16 - Estudo termoelétrico no Workbench (a) e página do Engineering Data (b).	31
Figura 17 – Waterblock no CFX.	33
Figura 18 - Distribuição da temperatura numa seção transversal ao fluxo da água.	34
Figura 19 – Distribuição da temperatura numa seção paralela a base do waterblock.	35
Figura 20 - Distribuição da temperatura na face em contato com a placa de Peltier.	35
Figura 21 - Radiador no CFX.	36
Figura 22 - Distribuição da temperatura no radiador.	36
Figura 23 - Temperatura do plano médio no radiador.	37
Figura 24 - Placa de Peltier no Ansys.	37

Figura 25 - Distribuição de temperatura no lado quente da placa de Peltier....	38
Figura 26 - Distribuição da temperatura no lado frio da placa de Peltier.....	38
Figura 27 – Sistema (placa de Peltier e waterblock).	40
Figura 28 - Distribuição de temperatura no sistema em regime permanente... 40	
Figura 29 – Radiador aberto.....	41
Figura 30 - Sistema montado não acoplado ao processador.	42
Figura 31 - Esquema da bancada.	43
Figura 32 - Protótipo em funcionamento.	43
Figura 33 - Radiador, reservatório com bomba e termômetro.....	44
Figura 34 - Conjunto Placa de Peltier, waterblock, dissipador e ventoinha.....	44

Tabelas

Tabela 1 - Temperatura do processador em ocioso e em estresse para arrefecimento comum e da figura 7.....	16
Tabela 2 - Temperatura do processador em ocioso e em estresse para arrefecimento comum, da figura 7 e do sistema proposto.....	45
Tabela 3 - Comparação entre temperaturas na simulação e temperaturas medidas.....	45

Lista de Abreviaturas e Siglas

CPU – processador.

GPU – processador da placa de vídeo.

VGA – placa de vídeo.

CFM – unidade Americana de fluxo volumétrico (*cubic feet per minute*)

Watercooling (WC) – sistema de arrefecimento que utiliza a água como fluido de trabalho.

Waterblock (WB) – trocador de calor em cobre ou alumínio que absorve calor do processador. Possui um canal interno onde passa a água.

Fan – Ventoinha

Coolant – Fluido refrigerante

Fittings – espigões

HD (hard disk) – disco rígido

Sumário

1. Introdução.....	11
1.1. <i>Water-cooling</i>	12
1.2. Estado da arte.....	14
1.3. Objetivo	16
1.4. Justificativa.....	16
2. Fundamentação Teórica.....	19
2.1. Condução e convecção.....	19
2.2. O efeito Peltier	21
2.3. A placa de Peltier	23
3. Sistema proposto.....	26
4. Modelagem e simulação.....	27
4.1. <i>Waterblock</i>	29
4.2. Radiador.....	29
4.3. Placa de Peltier	30
4.4. Sistema – Placa de Peltier e <i>Waterblock</i>	31
5. Resultados.....	33
5.1. <i>Waterblock</i>	33
5.2. Radiador.....	36
5.3. Placa de Peltier	37
5.4. Sistema (placa de Peltier e <i>waterblock</i>)	39
6. Protótipo	41
6.1. Desenhos de fabricação.....	41
6.2. Montagem e teste	41
6.3. Resultados	42
7. Conclusões.....	47

8. Bibliografia	48
9. Anexos	50
Datasheet das placas de Peltier série TEC1	50
Desenhos de fabricação	51

1. Introdução

Os processadores em geral, possuem atualmente um empecilho ao seu desenvolvimento, isto é, frequências maiores que permitam um tempo de processamento mais rápido, essencial para a vida moderna. No entanto, o aumento da frequência é responsável pelo aumento da quantidade significativa de calor gerado dentro dos mesmos.

Vários métodos de arrefecimento foram desenvolvidos para contornar o problema, mas o método tradicional de resfriamento via convecção forçada pelo ar continua sendo o mais comum, apesar do seu baixo teor de absorção de energia térmica, em relação a outros fluidos. Um destes é a água, que por ser de fácil acesso, tornou-se o fluido principal do chamado “*water-cooling*” (ver figura 4).

Em prol do desenvolvimento de um sistema mais eficiente de arrefecimento, será adicionada ao sistema de *water-cooling* convencional a tecnologia de termo-eletricidade, mais especificamente com pastilhas de Peltier, que “sugam” o calor de um lado e o rejeitam no outro graças ao efeito com mesmo nome. Um esquema desse fenômeno pode ser visto na figura 8.

O entendimento dos fenômenos termoelétricos envolvidos com ajuda de [1] e [2] em seguida a escolha e previsão das constantes da placa de Peltier a partir de [4] permitiram a elaboração de um sistema de *water-cooling* pouco explorado no mundo acadêmico. Simulações serão feitas para prever o comportamento de cada componente e do sistema como um todo, utilizando-se de elementos finitos para tal ([5] e [9]). Também serão realizados testes dos outros meios de arrefecimentos para comparação com o sistema proposto. Ao final compararemos resultados com os obtidos por [3], mas somente para caráter prático, pois não há especificações dos elementos utilizados pelos autores.

1.1. *Water-cooling*

Um sistema de *water-cooling* tradicional é composto pelos seguintes elementos: blocos (*waterblock*), bomba, mangueiras, fluido (*coolant*), radiadores e reservatório.

Os blocos são trocadores de calor geralmente de cobre, que estão em contato com os processadores seja da CPU ou da VGA ou até mesmo com encapsulados de memória e *hard disks* (HD). Eles possuem um caminho por qual o fluido passa e troca calor com o bloco. Portanto possuem uma entrada e uma saída de fluido por espigões (*fittings*), como pode ser observado na figura 1. Os quatro pinos ao redor com molas servem para fixação adequada do bloco na placa mãe no caso de uma CPU e da própria placa de vídeo ou memória para os blocos correspondentes.



Figura 1 - *Waterblock* de CPU da *Watercooling* [13].

As bombas exercem a função de manter o fluido circulando pelo sistema (“*loop*”) tendo um tamanho reduzido para utilização viável com um computador. Normalmente são utilizadas bombas com vazões elevadas (acima de 500L/h).

As mangueiras são tubos de plástico e fazem a conexão entre radiadores, reservatório, bomba e bloco, por onde passam o fluido.

O *coolant* é o fluido em uso no sistema. Ele pode possuir propriedades anti-corrosivas e anti-fungos e deve ser trocado em determinados períodos. A quantidade de fluido não influencia no desempenho final do sistema e depois

de alguns minutos de uso (depende da quantidade de fluido no sistema) o mesmo entra em equilíbrio térmico.

Os radiadores são trocadores de calor que rejeitam o calor do fluido do sistema para o ar. Estão acoplados a ventiladores (*ventoinhas*) para aumentar o fluxo de ar sobre as aletas. Na figura 2 é possível ver as furações para colocação de dois *ventoinhas* de mesmo tamanho sobre as aletas.

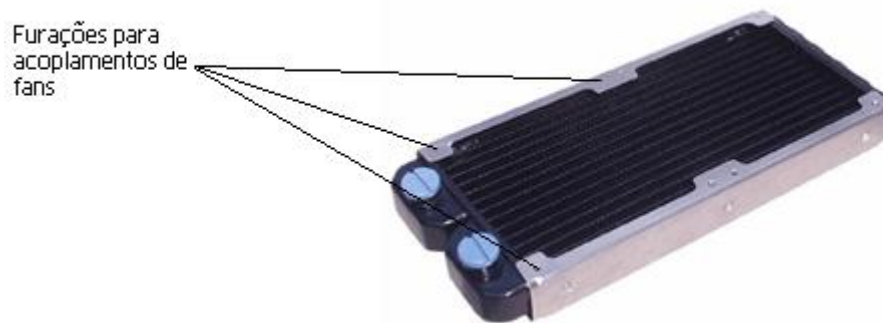


Figura 2 - Radiador da *Watercooling* [13].

O reservatório armazena o fluido do sistema e seu tamanho é reduzido para o uso no *water-cooling*, com volume entre 50 e 250 ml. Um exemplo de reservatório pode ser visto na figura 3.



Figura 3 - Reservatório de 75 ml da *Watercooling* [13].

Um exemplo de sistema *water-cooling* montado pode ser visto na figura a seguir.



Figura 4 - Sistema de *Water-cooling* completo com *waterblock*, reservatório, bomba e radiador [13].

1.2. Estado da arte

Aqui veremos alguns dos produtos disponíveis hoje.

A *Evercool* criou recentemente um *cooler* híbrido de arrefecimento a ar e a água, o WC-601, que pode ser visto na figura 5. O trocador de calor de cobre, localizado na parte de baixo da figura, é ligado por *heat pipes* preenchidos por um *coolant* num sistema de *water-cooling* onde a bomba e os canais de entrada e saída de líquido podem ser vistos a esquerda da imagem. Ao mesmo tempo esses *heat pipes* estão em contato com uma estrutura com várias aletas, como num radiador e acoplados a ventoinha que podemos ver na figura. O sistema híbrido aumentaria a eficácia do sistema. Não é utilizado placa de Peltier nesse cooler.

Já a *Custom Thermoelectric* possui a série SC-30, que possui um placa de Peltier de alto desempenho acoplado a um trocador de calor de alta eficiência de cobre e um *ventoinha* para dissipação do calor. Pode-se ver na figura 6 o uso de uma camada de isolante cobrindo a placa de Peltier, no intuito de evitar a condensação da água presente no ar (espuma), problema grave nos

resfriamentos a temperatura abaixo da ambiente. A placa de alumínio que se vê na parte superior é o trocador de calor com o processador.

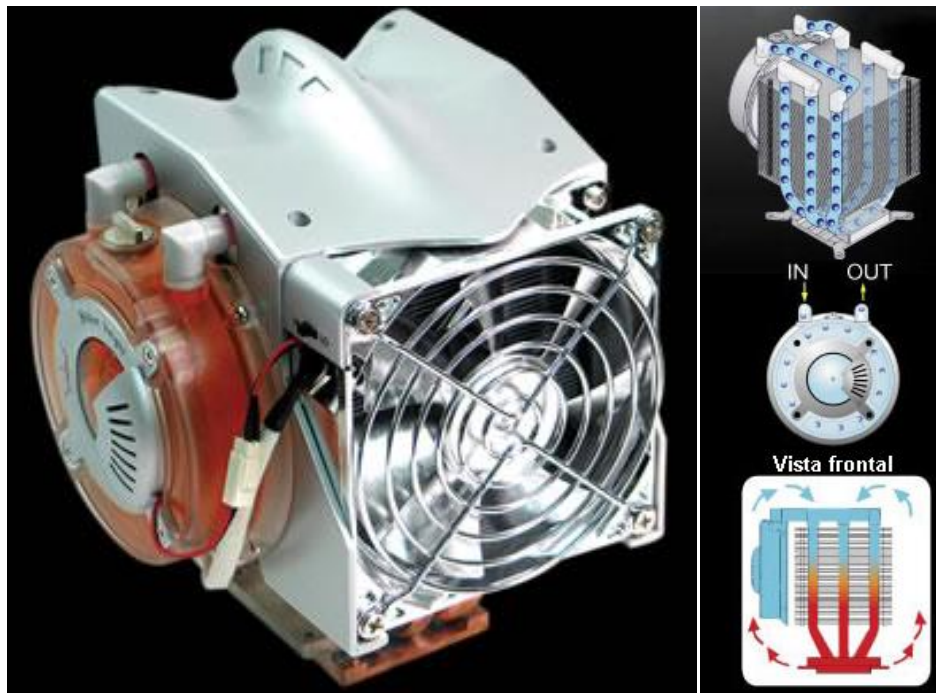


Figura 5 - WC-601 da *Evercool* [14].

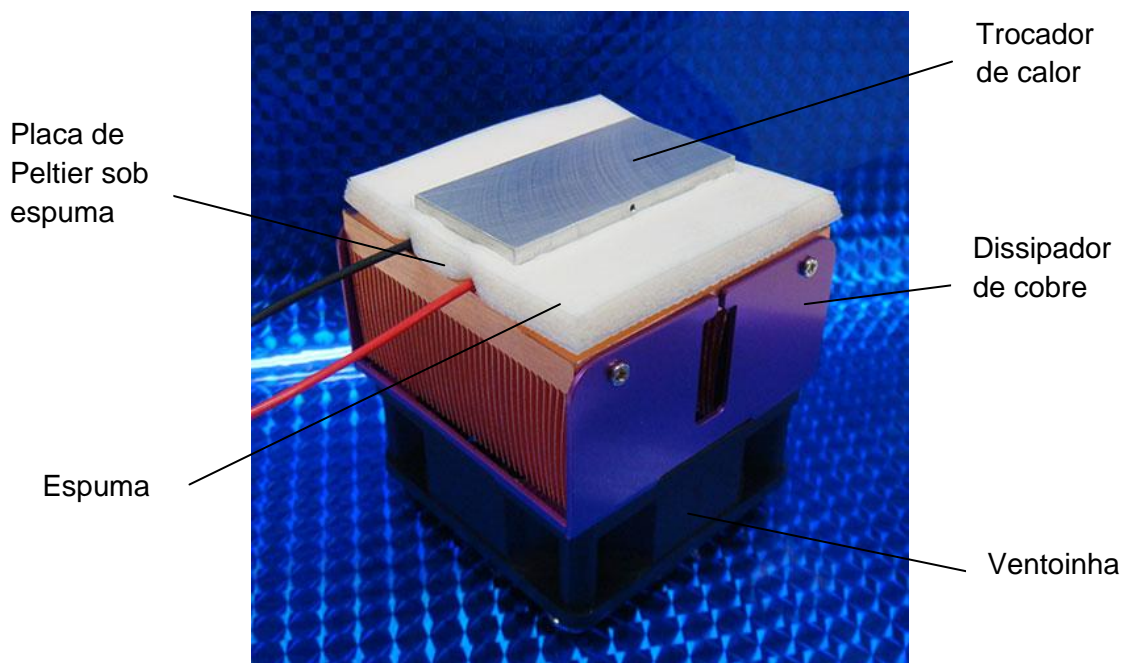


Figura 6 - SC-30-1012 da *Custom Thermoelectric* [15].

Estes são alguns dos exemplos do que se pode encontrar no mercado dos *coolers*. O da Evercool seria um caso mais singular, já o segundo seria o padrão do mundo de arrefecimento com placa de Peltier, que será testada na justificativa.

1.3. Objetivo

O intuito deste trabalho é o desenvolvimento de um protótipo de sistema de arrefecimento a base de água e pastilha termoelétrica para um processador comum (ver seção 3) e sua instalação num PC em funcionamento afim de realizar a medição das temperaturas atingidas pelo processador e compará-las com outros métodos tradicionais de resfriamento. Também faz parte dos objetivos, a realização de um protótipo com os menores custos possíveis e a adição da menor quantidade possível de energia ao sistema (ver potências dos componentes utilizados na seção 3). Finalmente, é feita uma modelagem numérica e uma comparação entre os resultados obtidos na simulação computacional e os resultados dos testes experimentais e do sistema de arrefecimento sem *water-cooling*.

1.4. Justificativa

Inicialmente foram feitos testes do sistema de arrefecimento comum (a ar) do processador (especificado na seção 3). Utilizando o programa *Stability Test* que tem por objetivo estressar a CPU ao máximo, elevando a temperatura da mesma ao máximo e o *SpeedFan* que monitora diversas temperaturas no computador.

Chegamos aos seguintes valores, com temperatura ambiente a 23°C:

Tabela 1 - Temperatura do processador em ocioso e em estresse para arrefecimento comum e da figura 7

	Ocioso	Em estresse
Arrefecimento comum	41°C	49°C
Com montagem da figura 7	30°C	48°C

Percebe-se que o aumento da temperatura não é muito significativo, mas este fato acontece pelo sistema (motherboard, CPU, etc.) não estar num gabinete fechado, portanto o calor que é rejeitado na ventoinha se dissipa no ar em volta. Além disso, o mesmo teste realizado num processador core 2 duo E7500 levou a temperatura de 48°C para mais de 70°C, o que confirma a justificativa do trabalho de que os processadores atuais geram mais calor.

Também foi feito uma segunda montagem similar ao produto da *Custom Thermoelectric* mostrado anteriormente, como pode ser visto nas figuras 7 e 8. A pasta branca é pasta térmica que preenche o ar entre as duas placas devido a imperfeições de planicidade de ambas. Note que não há uso de água nesse caso, somente dissipação via ar.

A placa de Peltier utilizada, assim como a ventoinha, são aqueles especificados no sistema a ser proposto. Realizando o mesmo teste com o *Stability Test*, note que a temperatura do processador está representada por “core”, obtivemos os valores indicados na tabela acima.

Como pode se notar, a temperatura está significativamente menor que no caso anterior para o caso ocioso, porém em estresse a temperatura é quase a mesma. Isso acontece porque o calor que está sendo gerado no processador não se dissipa pelo conjunto dissipador e *ventoinha* então a temperatura do processador sobe. Isso reforça a idéia de utilizar o *water-cooling* para contribuir na absorção do Q_h (fluxo de calor total – ver próxima seção).

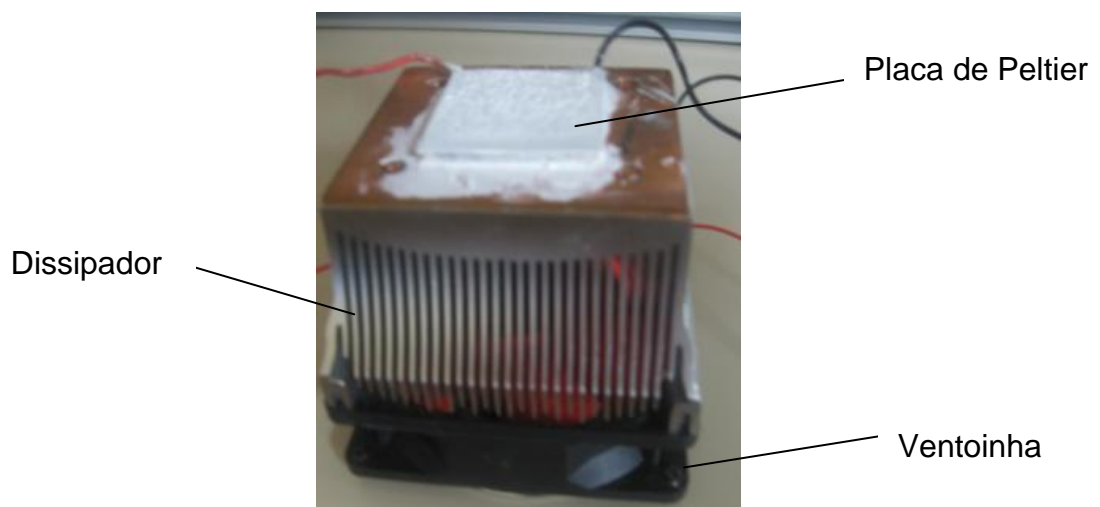


Figura 7 - Sistema Peltier acoplado a dissipador e ventoinha.

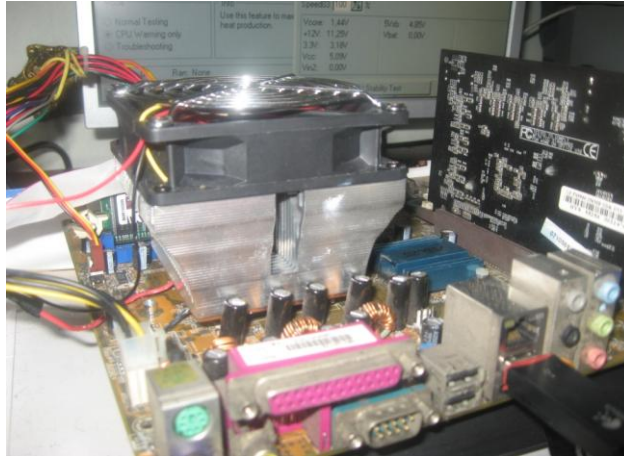


Figura 8 – Sistema da figura 7 com a placa de Peltier acoplada ao processador.

Para confirmar esta suposição, utilizando as equações detalhadas na próxima seção, iremos mostrar como chegamos nos resultados da figura 9 na parte de resultados (seção 6.3).

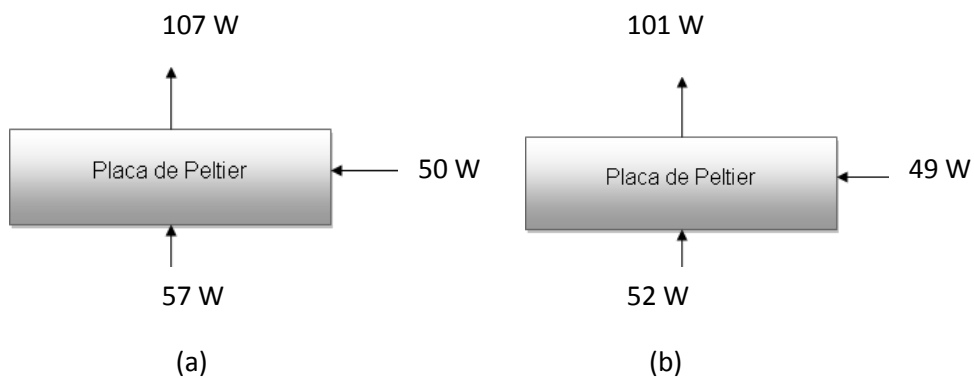


Figura 9 - Placa de Peltier em ocioso (a) e em estresse (b).

A diferença entre os dois Q_h é pequena, portanto o calor rejeitado é o mesmo. Por outro lado o calor gerado a mais aumenta a temperatura do processador.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Condução e convecção

Os fenômenos de condução determinam a distribuição de temperatura nos corpos estudados. Da primeira lei da termodinâmica obtemos:

$$\rho c(\partial T/\partial t + \mathbf{V}^T \mathbf{L}T) + \mathbf{L}^T \mathbf{q} = \ddot{q} \quad (1)$$

onde $\mathbf{L} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix}$ representa um operador vetorial

$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$ representa a velocidade nas direções x, y e z

$\mathbf{q} = \begin{pmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix}$ representa o fluxo de calor nas direções x, y e z.

ρ é a densidade do material, c é o calor específico e T é a temperatura ($T(x,y,z,t)$), \ddot{q} é a taxa de geração de energia por unidade de volume e t é o tempo.

Com a lei de Fourier: $\mathbf{q} = -\mathbf{K}\mathbf{L}T$ (2)

onde \mathbf{K} é a condutividade do material, a equação anterior fica:

$$\rho c(\partial T/\partial t + \mathbf{V}^T \mathbf{L}T) = \mathbf{L}^T(\mathbf{K}\mathbf{L}T) + \ddot{q} \quad (3)$$

Expandindo:

$$\begin{aligned} & \rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ &= \ddot{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Três tipos de condição de contorno são considerados na modelagem do Ansys:

- Temperatura especificada na superfície S_1 .
- Fluxo de calor especificado na superfície S_2 : $\mathbf{q}^T \boldsymbol{\eta} = -q^*$ (5)
onde $\boldsymbol{\eta}$ é o vetor unitário normal à superfície e q^* é o fluxo de calor especificado
- Convecção especificada sobre uma superfície S_3 :
 $\mathbf{q}^T \boldsymbol{\eta} = h(T_s - T_\infty)$ (6)
onde h é o coeficiente de convecção especificado ou na temperatura $(T_s - T_\infty)/2$, T_s é a temperatura da superfície do elemento e T_∞ é a temperatura do fluido adjacente.

Combinando as equações (2), (5) e (6) obtemos:

$$\boldsymbol{\eta}^T \mathbf{K} \mathbf{L} \mathbf{T} = q^* \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\eta}^T \mathbf{K} \mathbf{L} \mathbf{T} = h(T_s - T) \quad (8)$$

Multiplicando a equação (3) por uma mudança de temperatura virtual δT , integrando em um volume Ω e combinando com as equações (7) e (8), obtemos:

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} \left(\rho c \delta T \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V}^T \mathbf{L} \mathbf{T} \right) + \mathbf{L}^T (\delta T) (\mathbf{K} \mathbf{L} \mathbf{T}) \right) d\Omega \\ &= \int_{S_2} \delta T q^* d(S_2) + \int_{S_3} \delta T h (T_s - T) d(S_3) + \int_{\Omega} \ddot{q} \delta T d\Omega \end{aligned} \quad (9)$$

No problema proposto, como não há convecção forçada, a equação na forma matricial se reduz a:

$$\mathbf{A} \dot{\mathbf{T}} + \mathbf{K} \mathbf{T} + \mathbf{h} \mathbf{T} = \mathbf{Q} \quad (10)$$

onde $\mathbf{A} = \rho c \delta T$ e \mathbf{Q} é a soma dos fluxos de calor de superfície e gerados internamente ao volume.

2.2. O efeito Peltier

No início do século XIX, o físico francês Jean Charles Peltier descobriu por acaso que ao passar uma corrente elétrica entre dois condutores diferentes aparecia uma diferença de temperatura entre os mesmos. Porém, foi apenas vinte anos depois que o inglês William Thomson usou argumentos termodinâmicos para expressar os efeitos Peltier e Seebeck. [6]

No caso de dois condutores estarem ligados num circuito fechado, ao aquecer um dos materiais da junção, os elétrons de potencial mais baixo atingirão níveis mais altos, absorvendo calor e fornecendo a corrente elétrica, este é o efeito Seebeck. Se por outro lado for imposto uma corrente no circuito, surgirá uma diferença de temperatura entre os dois materiais. [6]

A imposição de corrente num sistema composto por dois semicondutores p e n ligados entre si em série eletricamente e termicamente em paralelo, produz o movimento de elétrons na direção do semi-condutor de tipo p para o de tipo n, causando o aquecimento de uma das duas cerâmicas envolvendo a junção e o resfriamento da outra, conforme figura 10. A cerâmica superior representa o lado frio e a inferior o lado quente.

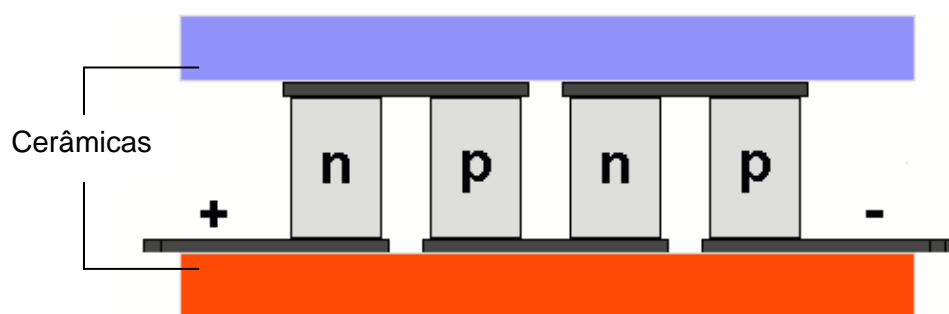


Figura 10 – Efeito Peltier entre dois pares de semicondutores [11].

As equações constitutivas dos efeitos termoelétricos segundo [1], são:

$$\mathbf{q} = \alpha T_j - K \nabla T \quad (11)$$

$$\mathbf{j} = \boldsymbol{\sigma}(-\nabla V - \boldsymbol{\alpha}\nabla T) \quad (12)$$

onde $\boldsymbol{\alpha}$ representa o coeficiente de Seebeck, \mathbf{j} o fluxo de elétrons, \mathbf{K} o coeficiente de condução térmica, \mathbf{q} o fluxo de calor, ∇T o gradiente de temperatura, $\boldsymbol{\sigma}$ a condutividade elétrica para um gradiente de temperatura nulo e $-\nabla V$ o campo elétrico.

Para o escopo deste trabalho o material será considerado isotrópico, portanto as matrizes $\boldsymbol{\alpha}$, \mathbf{K} e $\boldsymbol{\sigma}$ são diagonais. Também não consideraremos os efeitos da temperatura sobre essas grandezas.

$$\boldsymbol{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha_i & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_j & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_i & 0 & 0 \\ 0 & K_j & 0 \\ 0 & 0 & K_k \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_i & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_j & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_k \end{bmatrix}$$

As equações de equilíbrio são:

$$\nabla \mathbf{j} = 0 \quad (13)$$

$$\nabla \mathbf{q} + \mathbf{j}\nabla V = 0 \quad (14)$$

As equações (11), (12), (13) e (14) representam a formulação forte do efeito termoelétrico. Substituindo as duas primeiras nas duas últimas obtém-se as equações que são resolvidas por elementos finitos.

Vale ressaltar que estas equações não são lineares, apresentando termos que dependem tanto da temperatura quanto da tensão, ou de um desses termos elevado a uma potência.

2.3. A placa de Peltier

Utilizando-se dos conceitos descritos, foram elaborados diversos pares termoelétricos, sendo que atualmente se utiliza o Bismuto-Telúrio (Bi-Te) dopados de maneira a criar um excesso de elétrons no semi-condutor tipo n e uma falta no tipo p.

Na elaboração de uma placa de Peltier são utilizados vários pares em série envolvidos por duas placas de cerâmica, como pode ser observado na figura 11.

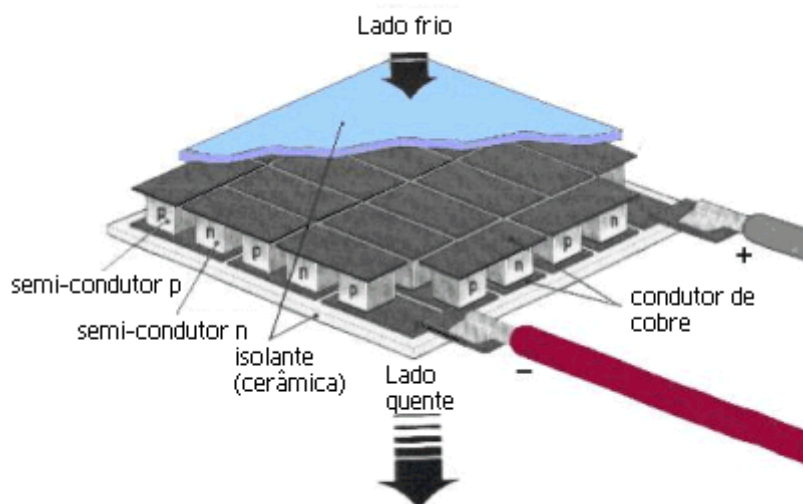


Figura 11 – Placa de Peltier [11].

Se o sentido da corrente for invertido, o lado quente e o lado frio se invertem, o que pode ser utilizado para diferentes tipos de aplicações.

Essas placas funcionam numa faixa de 12 a 16 V, com consumo de corrente variado chegando até algumas dezenas de Ampéres para as mais sofisticadas.

Em geral a diferença de temperatura máxima entre as duas faces chega a 60°C, mas pode alcançar 150°C com acoplamentos de células em cascata.

Vale ressaltar que daqui em diante o modelo utilizado para explicar o fenômeno será considerado unidimensional. Podemos então representar uma pastilha de Peltier por um sistema como na figura 12, onde Q_c e Q_h são respectivamente, o calor absorvido pela face fria da placa e o calor rejeitado pela face quente e Q é a energia elétrica fornecida a Peltier para funcionar ($Q=U.I$). A relação pode ser vista na equação (18).

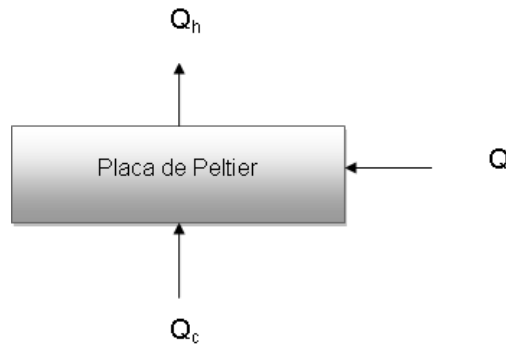


Figura 12 - Esquema térmico da placa de Peltier.

Parte da energia elétrica fornecida é transformada em calor por efeito Joule, e esse calor somado ao calor transportado (Q_c) formam o Q_h e deve ser dissipado no lado quente. É necessário dissipar o calor do lado quente porque a placa de Peltier pode queimar.

Podemos equacionar essas quantidades de energia, considerando o efeito Joule na equação (11) e separando os fluxos de calor que entram e que saem da placa de Peltier, chegando ao resultado de [2]:

$$Q_c = \alpha IT_c - \frac{J^2 R}{2} - \kappa_{\text{tec}} (T_h - T_c) \quad (15)$$

$$Q_h = \alpha IT_h + \frac{J^2 R}{2} - \kappa_{\text{tec}} (T_h - T_c) \quad (16)$$

onde T_c e T_h são as temperaturas médias (K) do lado frio e do lado quente da placa de Peltier, respectivamente, R é a resistência da placa (Ω) e κ_{tec} é o coeficiente de condução térmica da placa de Peltier (WK^{-1}). As três parcelas nas equações acima representam respectivamente o efeito Peltier, efeito Joule e quantidade de calor por condução.

Outras duas equações importantes dados por [4] são do cálculo da tensão na placa de Peltier e do fluxo Q_h em função de Q_c e da potência dissipada pela placa de Peltier.

$$U = \alpha \Delta T + IR \quad (\text{proveniente da equação (12)}) \quad (17)$$

$$Q_h = Q_c + Q \quad (2^{\text{a}} \text{ lei da termodinâmica para máquinas de calor}) \quad (18)$$

Ainda segundo [4], podemos calcular as constantes da placa de Peltier a partir dos dados fornecidos no *datasheet* (ver anexos, página 34). As equações são:

$$R = \frac{U_{max} T_{hot} - \Delta T_{max}}{I_{max} T_{hot}} \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{U_{max}}{T_{hot}} \quad (20)$$

$$\theta_{tec} = \frac{\Delta T_{max}}{I_{max} \cdot U_{max}} \frac{2T_{hot}}{T_{hot} - \Delta T_{max}} \quad (\theta \text{ é a resistividade elétrica}) \quad (23)$$

3. Sistema proposto

O sistema proposto nesse trabalho consiste num *waterblock* de alumínio sobre um processador Athlon modelo 3200+ de 67 W. No lado superior do bloco está colocada uma placa de Peltier modelo TEC1-12709. Para dissipar o calor do lado quente da mesma, um *waterblock* é ligado a um reservatório com a bomba mini A de 2W da *Sarlobetter*, uma bomba de aquário. Acima do *waterblock*, é colocado um dissipador de alumínio acrescido de uma ventoinha da *Evercool* EC9225h12EA [14] de fluxo de ar máximo de 48,43 CFM. O sistema está esquematizado na figura abaixo.

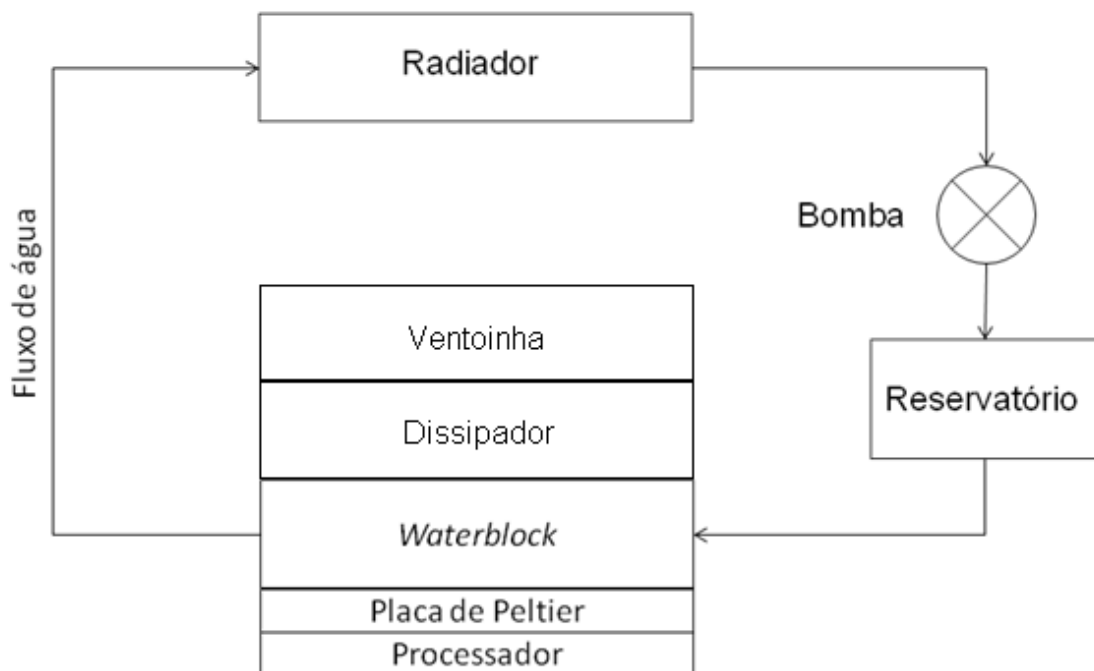


Figura 13 - Esquema do sistema proposto.

O objetivo do sistema é manter o processador com temperatura próxima a temperatura ambiente, evitando assim o problema da condensação devido a temperaturas inferiores a mesma.

O *waterblock* por sua vez está ligado a um reservatório, uma bomba e a um trocador de calor (radiador), como mostrado na figura 13.

Portanto a bancada de realização dos testes será composta pela montagem acima, todas ligadas por tubulações de plástico. O programa *SpeedFan* também estará disponível.

4. Modelagem e simulação

A metodologia de análise segue o fluxograma a seguir:

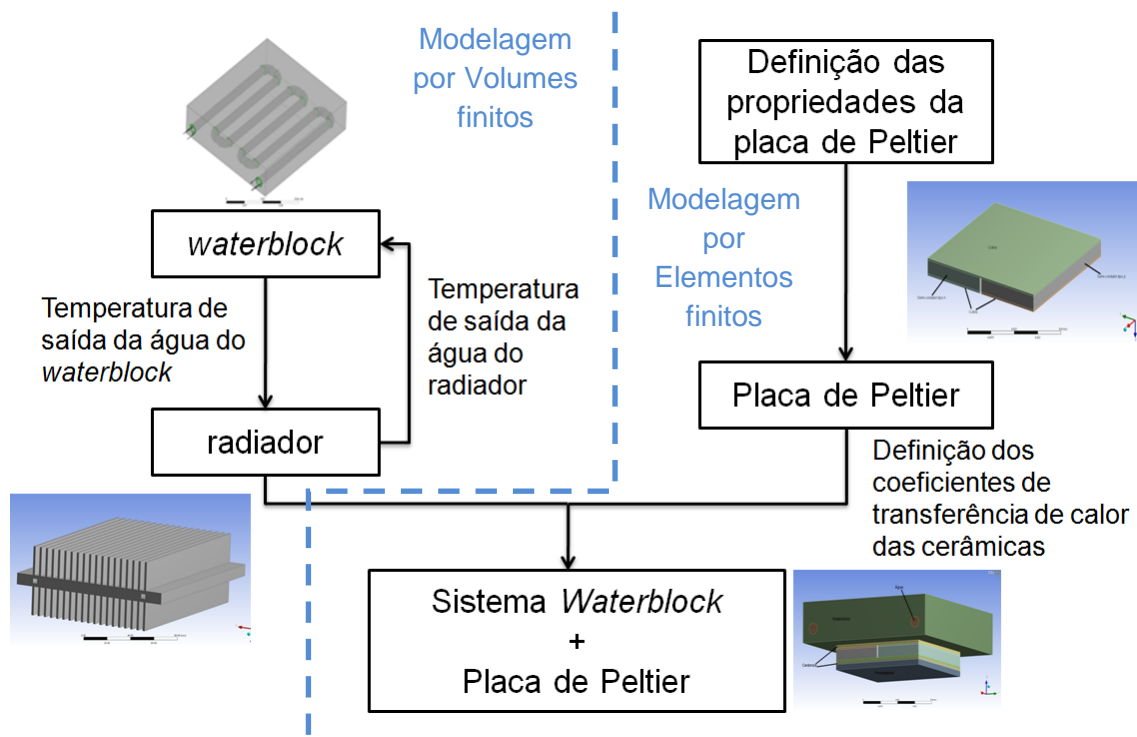


Figura 14 - Fluxograma da metodologia de análise.

Foram feitos dois estudos em paralelo, o estudo do efeito Peltier e da geometria do radiador. Esta foi refeita até que a temperatura da água na saída do radiador coincidissem com a temperatura de entrada da água no *waterblock*, visto que esse é o propósito do radiador: retirar calor da água para que volte ao *waterblock* para trocar calor com a placa de Peltier. Com essa geometria definida, é realizado o estudo termoelétrico com a placa de Peltier, cujos coeficientes de transferência de calor foram previamente estimados, determinando-se então a temperatura no *waterblock* para manter o

processador funcionando a uma temperatura de 35°C. Essa temperatura é realimentada ao *waterblock* e em seguida ao radiador para determinar suas distribuições de temperatura.

Foram realizadas simulações no ANSYS Workbench para diversos modelos de radiador até a convergência (com temperaturas definidas na seção 5). Primeiro serão realizadas as modelagens de cada parte do sistema de maneira individual para detecção de problemas como perda de carga. No *waterblock* e no radiador, as simulações envolvem o estudo do fluxo de água e consequente distribuição de temperatura nos mesmos. Na Peltier, o objetivo é conseguir simular o efeito termoelétrico utilizando método de elementos finitos (CFX trabalha com volumes finitos).

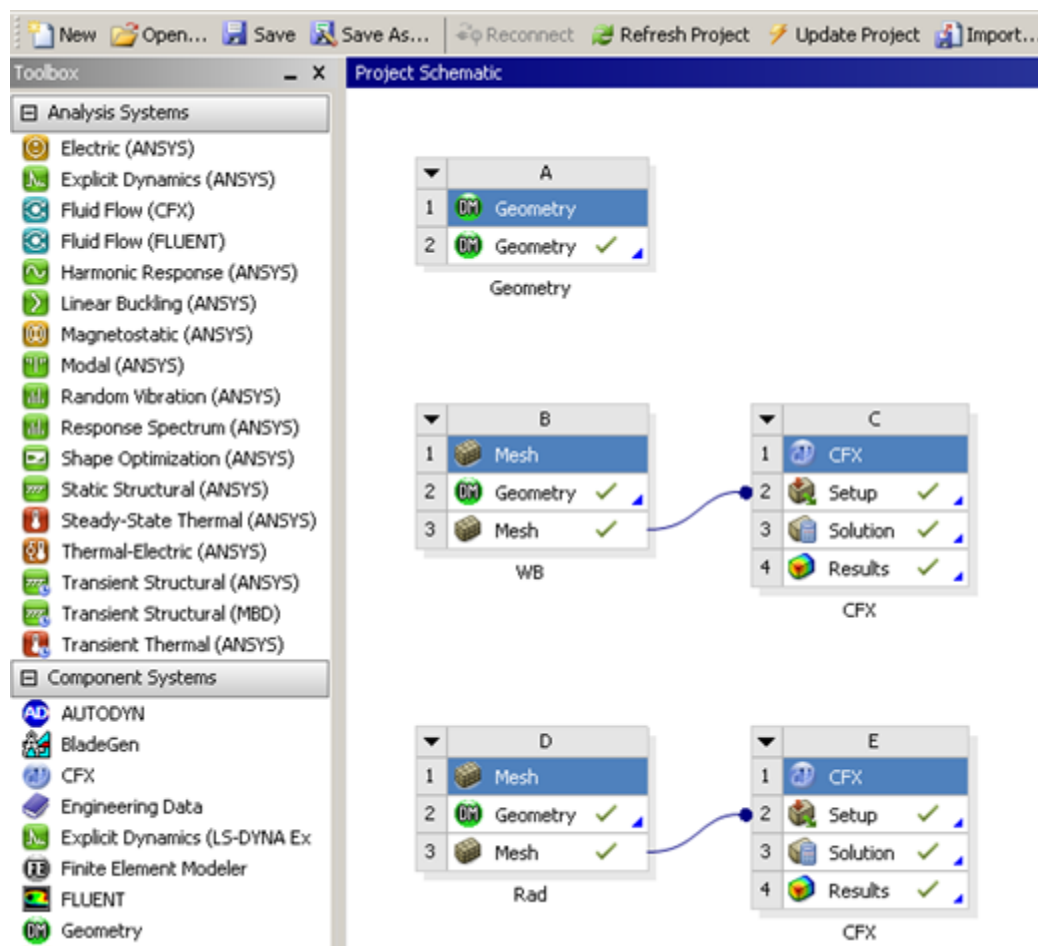


Figura 15 - Esquema dos projetos do *waterblock* e do radiador no *Workbench*.

O primeiro passo é criar uma geometria, para isso basta arrastar o ícone do menu a esquerda do *Workbench* (*toolbox*) para a área a direita, *Project Schematic*. Em seguida é feita de maneira análoga uma malha. Finalmente

criamos um estudo de CFX. Para isso basta clicar com o botão direito do *mouse* em “*Mesh*”, na terceira linha do bloco com mesmo nome e apontar para “*transfer data to new*” e então clicar em CFX. Com isso temos o esquema de nossa simulação no *Ansys Workbench*, como pode ser visto na figura 15.

Clicando em “*Setup*” é aberto o CFX – pré, onde definimos as condições de contorno e os materiais de cada parte da geometria importada anteriormente. Finalmente clicamos com o botão direito em “*Solution*” e então “*update*”. O CFX resolverá então o sistema definido. Ao final para ver a solução basta clicar em “*Results*”.

4.1. Waterblock

Lembrando que o waterblock é um trocador de calor que está em contato com o processador, começamos com a geometria no *Design Modeler*, (clicar duas vezes em *Geometry* no bloco de mesmo nome) que basicamente é uma extrusão seguida de um *sweep* para formação do canal. Em seguida é gerada a malha da mesma, isto é, a discretização da geometria para análise em elementos finitos. Esta deve ser feita considerando a presença de geometrias que por serem muito finas ou apresentarem quinas geram problemas para o software. Trata-se na verdade de um processo iterativo onde obter a malha mais discretizada possível não é eficaz, pois a simulação demoraria horas para atingir a convergência. Depois de gerada a malha, a mesma é importada no *CFX-Pre* onde são definidas as condições de contorno.

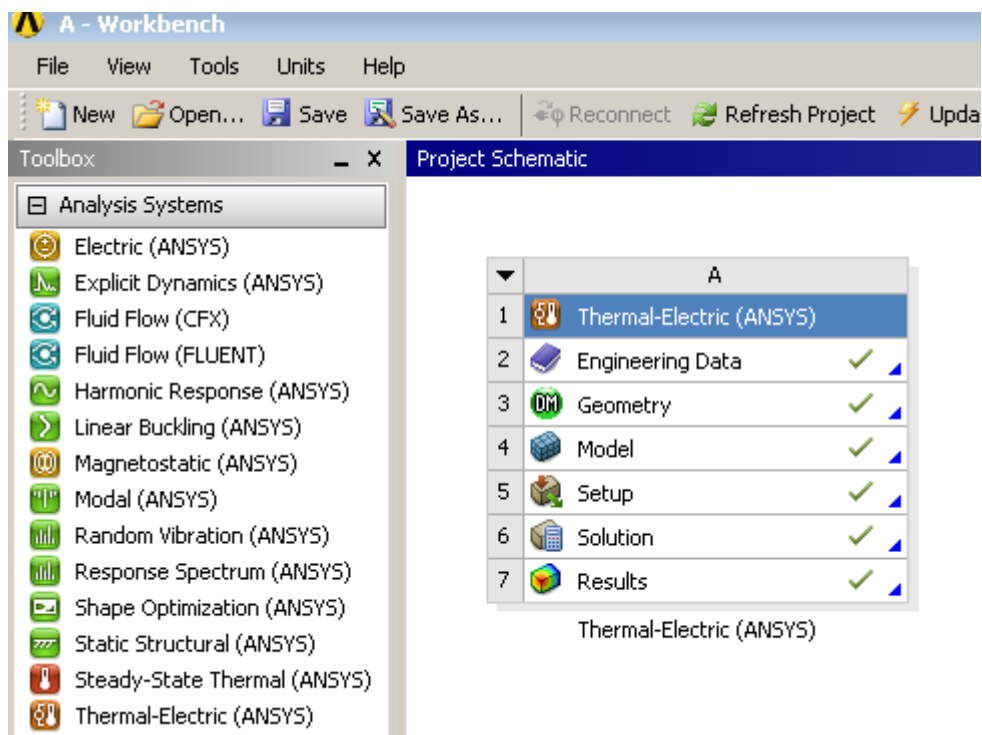
4.2. Radiador

O radiador é o trocador de calor responsável pela dissipação do calor absorvido pela água. A água passeia pelo interior da mesma e graças às aletas esta vai esfriando aos poucos para voltar a trocar calor com o *waterblock*.

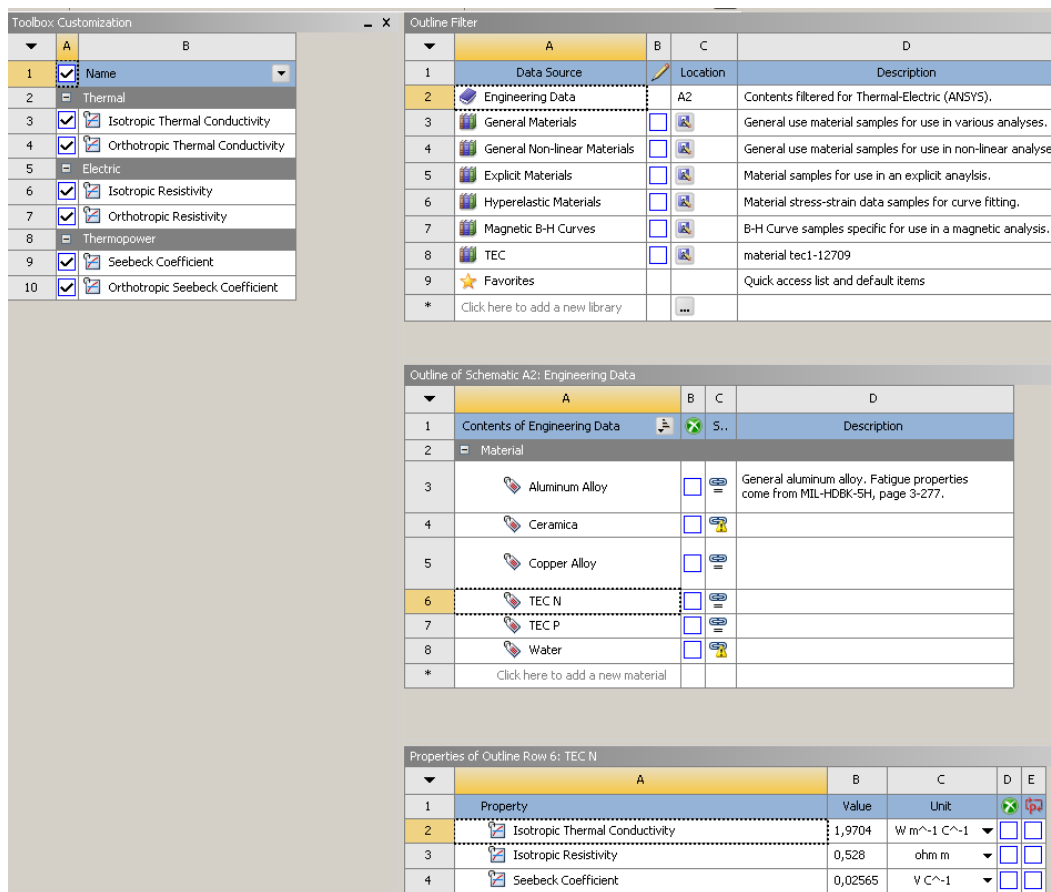
Basicamente seguimos o mesmo procedimento da geometria do *waterblock*. A única ressalva é que devido à presença de aletas de espessura fina (1-2 mm), o passo máximo da malha deve ser menor que no *waterblock* obrigando a geração de uma malha com muitos elementos e cuja simulação é bem mais demorada do que a anterior. Seu esquema está representado na figura 15 igualmente, abaixo do *waterblock*. Nesse caso a geometria foi importada de um arquivo já desenhado anteriormente por isso não houve necessidade de criar outro bloco “*geometry*”.

4.3. Placa de Peltier

Para a placa de Peltier, a abordagem é diferente. Normalmente a placa é composta por 127 pares de materiais semi-condutores. Para simplificar foi feito somente um par, porém com as dimensões da placa como um todo. Devemos criar o bloco *Thermal-electric (ANSYS)* de maneira análoga ao explicado anteriormente. Na figura seguinte podemos ver o esquema do estudo termoelétrico.



(a)



(b)

Figura 16 - Estudo termoelétrico no *Workbench* (a) e página do *Engineering Data* (b).

Em seguida devemos escolher e criar os materiais das geometrias que serão utilizadas para a simulação. Clicando em “*Engineering Data*” podemos ver as listas dos materiais que podem ser escolhidos divididos em subseções. Foi escolhido o “*Copper Alloy*” e criado os materiais dos semicondutores com coeficientes de Seebeck adotados com mesmo valor absoluto e sinais opostos com metade do valor de α da seção 6.3.

4.4. Sistema – Placa de Peltier e *Waterblock*

Com o conhecimento adquirido nas simulações acima partimos então para simulação desse sistema (figura 27) utilizando a interface *Thermal-electric* do *Ansys* (a mesma utilizada para as simulações da placa de Peltier). O objetivo é encontrar a temperatura no *waterblock* para o processador manter-se

a 36°C, como justificado na seção 6.3. O fluxo de calor dissipado pelo dissipador de alumínio acoplado à ventoinha foi estimado graças à lei de convecção, onde o fluxo é igual ao produto do coeficiente de convecção pela área superficial pela diferença entre a temperatura superficial da superfície e a temperatura do meio, ou seja:

$$Q_{convecção} = hA\Delta T \quad (24)$$

Portanto medindo a área de uma face da aleta do dissipador e multiplicando por dois e pelo número de aletas encontramos a área superficial. O coeficiente de convecção deve levar em conta o fato de utilizarmos uma ventoinha, isto é, com convecção forçada. Segundo [16], esse coeficiente pode ser encontrado a partir da fórmula:

$$h = 6,47V \quad (25)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (26)$$

onde V é a velocidade do ar em m/s , Q o fluxo de ar em m^3/s e A é a área transversal livre (sem aletas) em m^2 .

Assim com o fluxo máximo de da ventoinha, (seção 3) achamos a velocidade do ar: 3,8 m/s e logo $h = 25$ em $W/(m^2.K)$ O ΔT foi estimado em 14 graus para que o $Q_{convecção}$ acima resultasse então em 35 W.

5. Resultados

5.1. Waterblock

As condições de contorno adotadas foram:

- Temperatura de entrada da água: 36°C (explicação na seção 6.3)
- Vazão mássica na entrada, indicada pelas flechas: 0,0319 kg.s⁻¹ (correspondente a uma vazão de 115L/h, vazão média da bomba)
- Fluxo de calor com a placa de Peltier: 86875 W.m⁻² (139 W – ver seção 1.4 - em 16 cm²)
- Fluxo de calor com o ar ambiente com coeficiente de transferência de calor de 7,5 W.m⁻².K⁻¹ e temperatura externa de 30°C. (convecção natural)

O sistema proposto pode ser visto na figura abaixo:

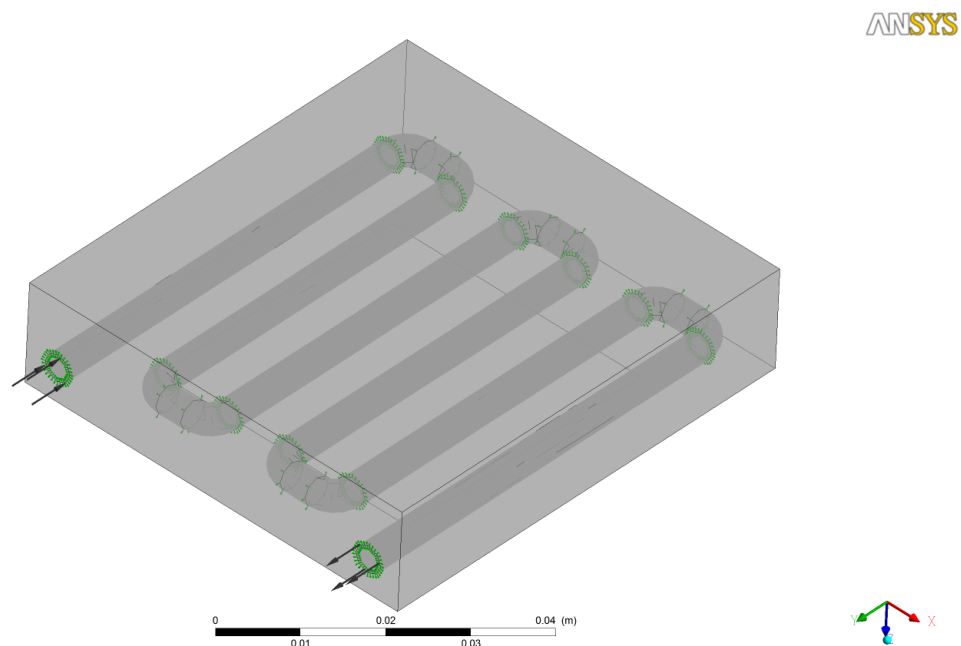


Figura 17 – Waterblock no CFX.

No final o resultado é visualizado no *CFX-Post*. Na figura 18 temos uma vista de uma seção perpendicular ao fluxo de água. A temperatura máxima do *waterblock* está no contato com a placa de Peltier por volta de 41°C (note que esta área é delimitada por um quadrado), enquanto que a temperatura do fluido sobe para os arredores de 37° C na saída do *waterblock*. Essa temperatura será utilizada como condição de entrada para o radiador.

Na figura 19, podemos ver a temperatura do líquido ao longo do percurso do *waterblock* e na figura 20 a temperatura da face deste que se encontra em contato com a placa de Peltier.

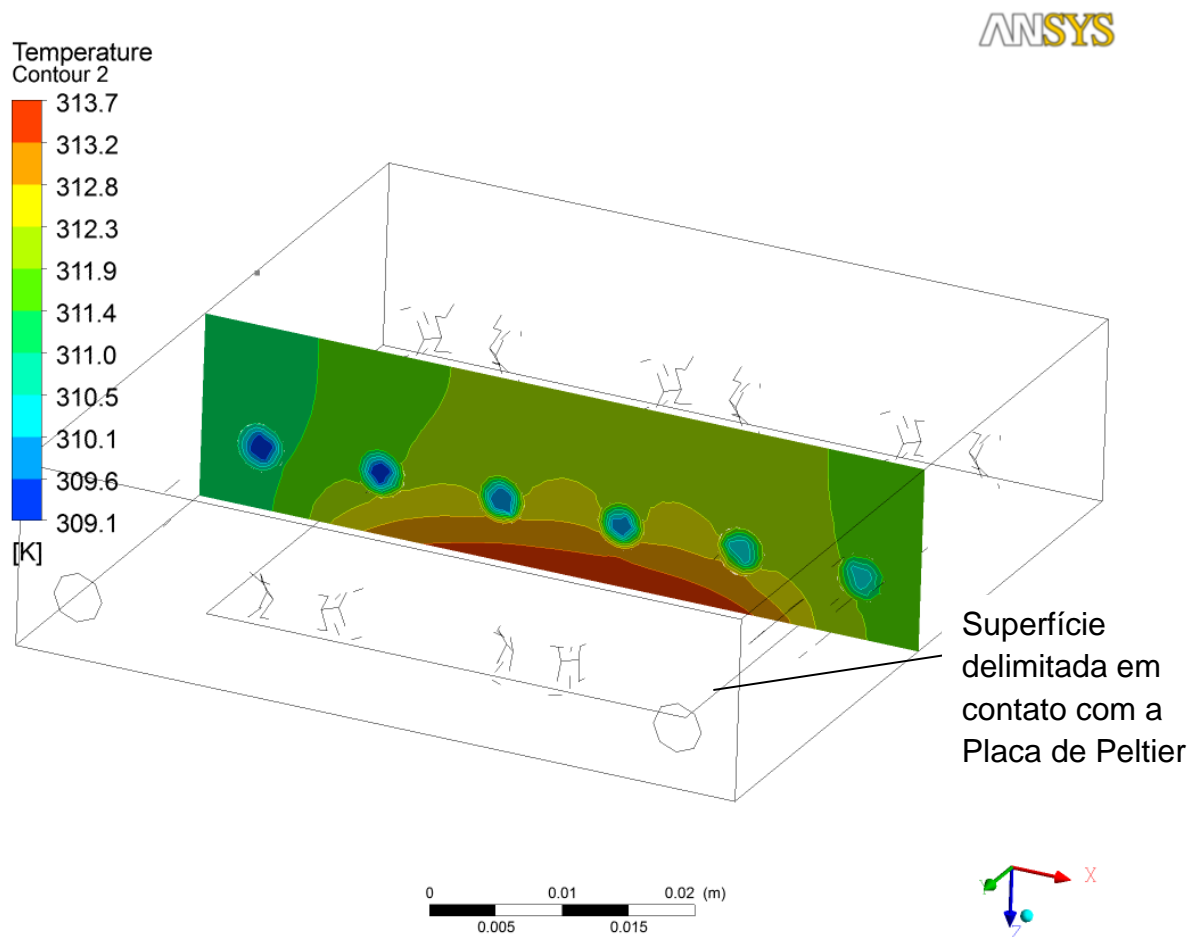


Figura 18 - Distribuição da temperatura numa seção transversal ao fluxo da água.

Note um quadrado delineado na parte inferior do waterblock, representando a área em contato com a placa de Peltier. Este também está presente nas figuras a seguir.

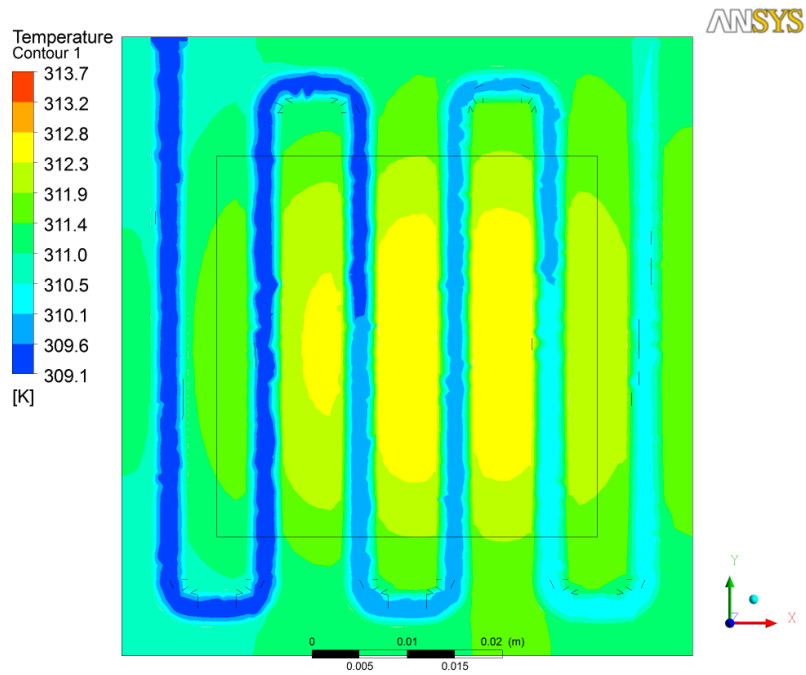


Figura 19 – Distribuição da temperatura numa seção paralela a base do waterblock.

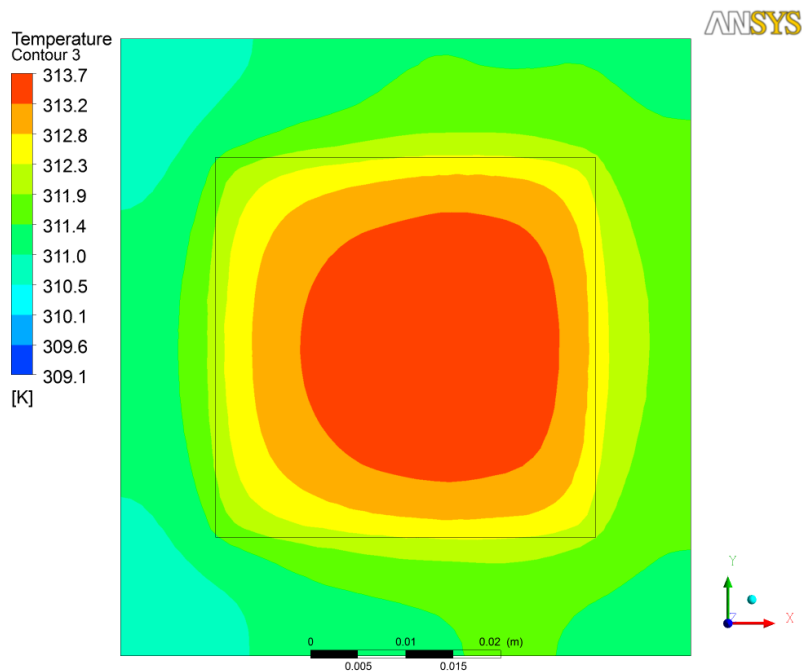


Figura 20 - Distribuição da temperatura na face em contato com a placa de Peltier.

5.2. Radiador

As condições de contorno adotadas foram as mesmas que as utilizadas para o *waterblock* com uma temperatura de entrada de 37 °C (temperatura de saída do waterblock) e sem o fluxo de calor do processador.

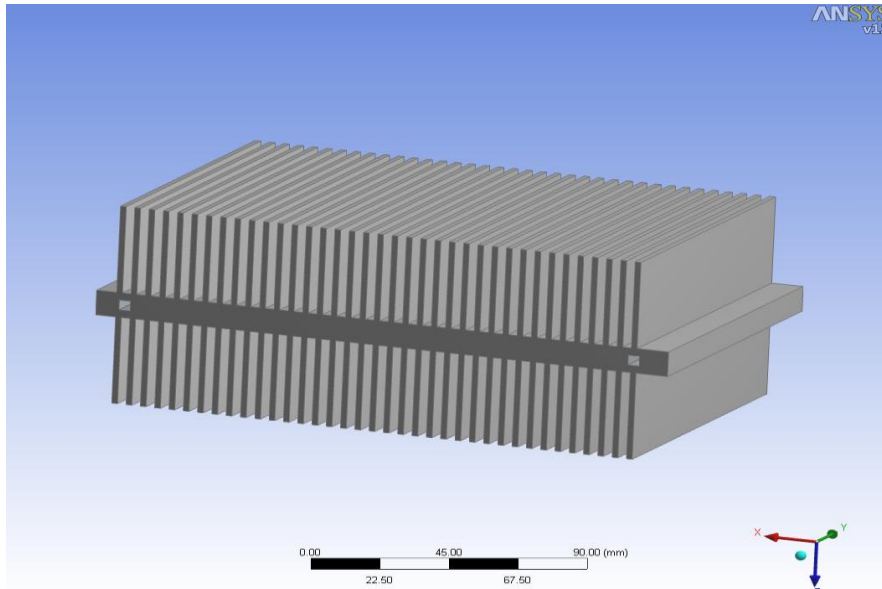


Figura 21 - Radiador no CFX.

Nas figuras a seguir podemos ver a distribuição da temperatura nas aletas e a da água durante o percurso dentro do mesmo.

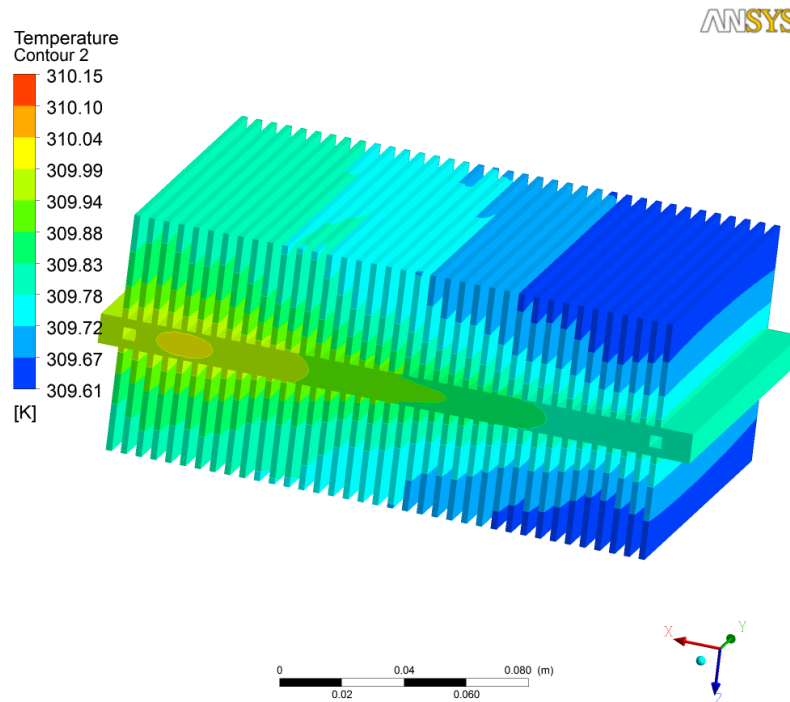


Figura 22 - Distribuição da temperatura no radiador.

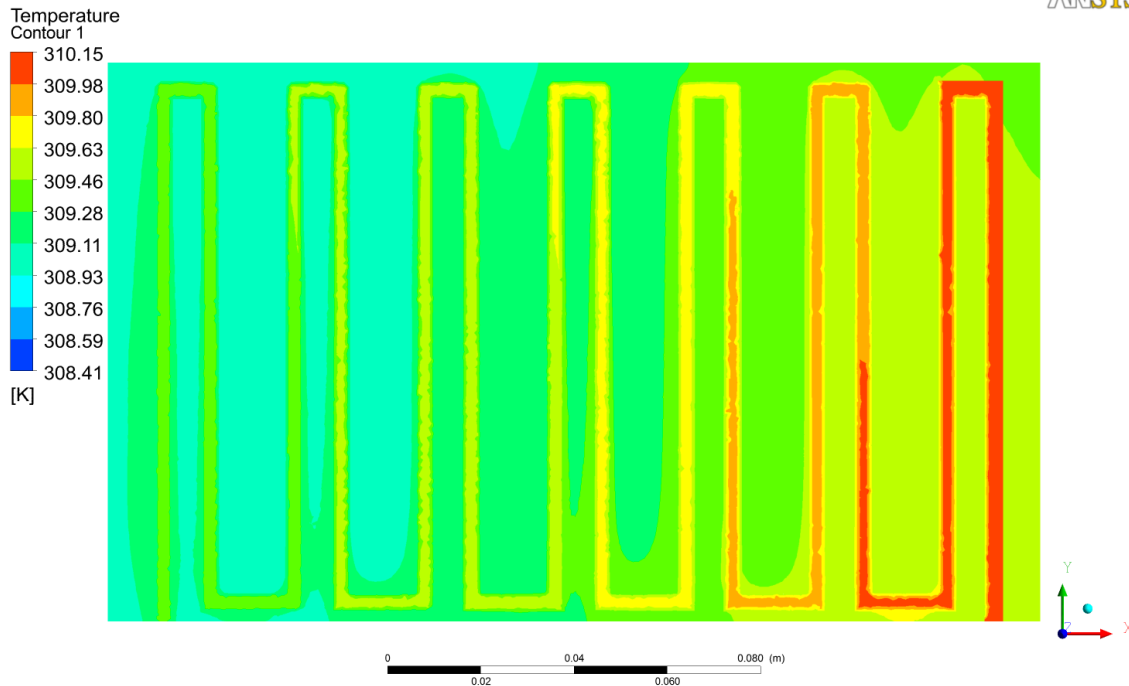


Figura 23 - Temperatura do plano médio no radiador.

5.3. Placa de Peltier

Em relação às placas de Peltier da série TEC1, os dados estão na seção anexos (página 34). A placa utilizada é a TEC1-12709. Utilizando as equações (7), (8) e (9) chega-se aos seguintes valores para o TEC1-12709:

$$R = 1,32 \, \Omega, \quad \alpha = 0,0513 \, \text{V} \cdot \text{K}^{-1} \text{ e } \theta_{\text{tec}} = 1,2688 \, \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

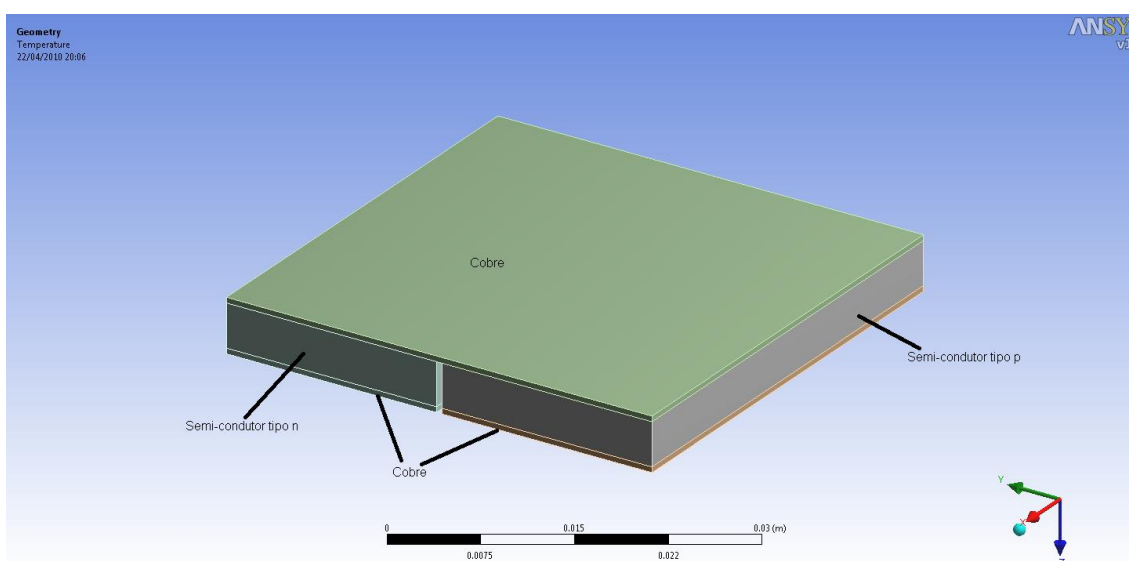


Figura 24 - Placa de Peltier no Ansys.

A placa de Peltier foi modelada como um par de semicondutores apenas, ao invés dos 127 da placa comercial por questão prática, além disso, a temperatura ambiente é 30°C e a diferença de tensão é 10,2 V aplicadas nas junções de cobre.

Sobre a temperatura ambiente, vale notar que isso exigiria que a temperatura do ar do lado quente da Peltier teria que ser mantida a 30 °C, ou seja, por meio do uso de dissipadores e ventoinhas. No caso real o ar se aqueceria rapidamente e a placa de Peltier queimaria.

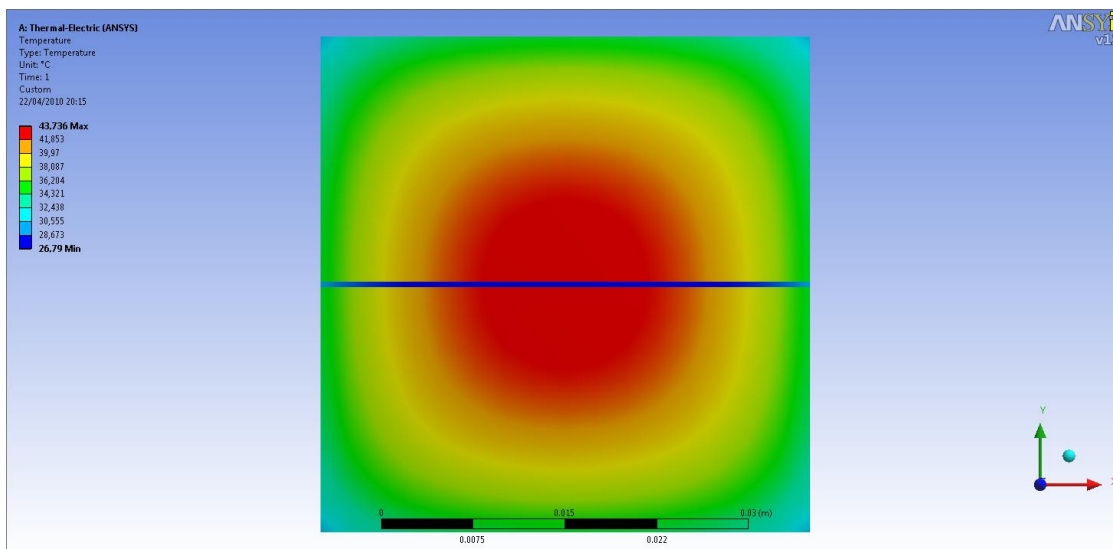


Figura 25 - Distribuição de temperatura no lado quente da placa de Peltier.

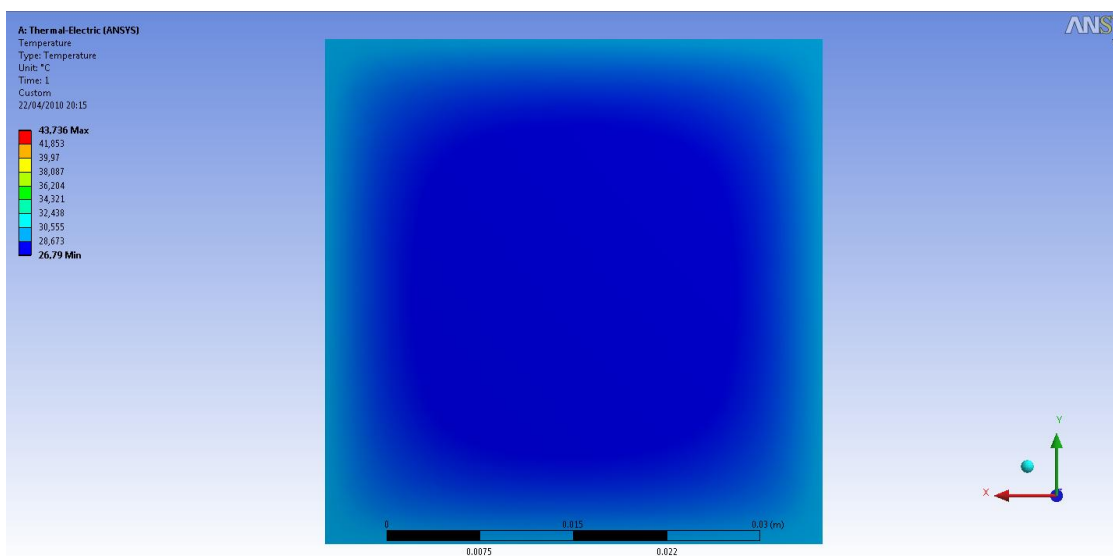


Figura 26 - Distribuição da temperatura no lado frio da placa de Peltier.

5.4. Sistema (placa de Peltier e *waterblock*)

Além das mesmas geometrias utilizadas para a placa de Peltier (semicondutores e placas de cobre com as condições de contorno mantidas), foram adicionadas:

- Cerâmicas abaixo e acima destas geometrias citadas e foi estabelecido um coeficiente isotrópico de condutividade térmica igual a $3 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$, estimado para que as temperaturas ficassem parecidas com as que a Peltier trabalha usualmente, isto é para que se chegasse a valores de temperatura compatíveis com as temperaturas medidas na caracterização experimental.
- Temperatura da face inferior do processador estabelecida a 36°C .
- Fluxo de calor saindo do *waterblock* de 35 W (ver seção 4.4).
- Geração de calor de 67 W dentro do processador.

Além disso, é importante ressaltar que a temperatura ambiente considerada foi de 30°C . Na figura 27 podemos ver o modelo com as partes devidamente explicitadas.

Na figura 28 podemos ver os resultados em regime permanente do sistema no que diz respeito à temperatura. Pode-se ver que a temperatura do processador funcionando é próxima de 36°C e a temperatura do *waterblock* está pouco abaixo dos 40°C .

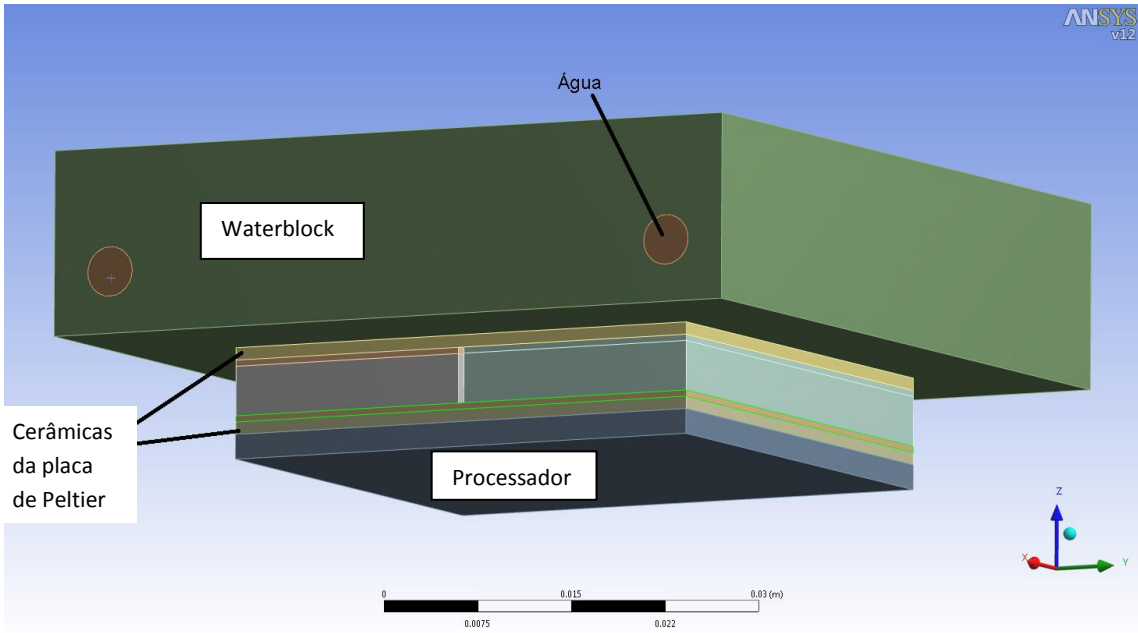


Figura 27 – Sistema (placa de Peltier e waterblock).

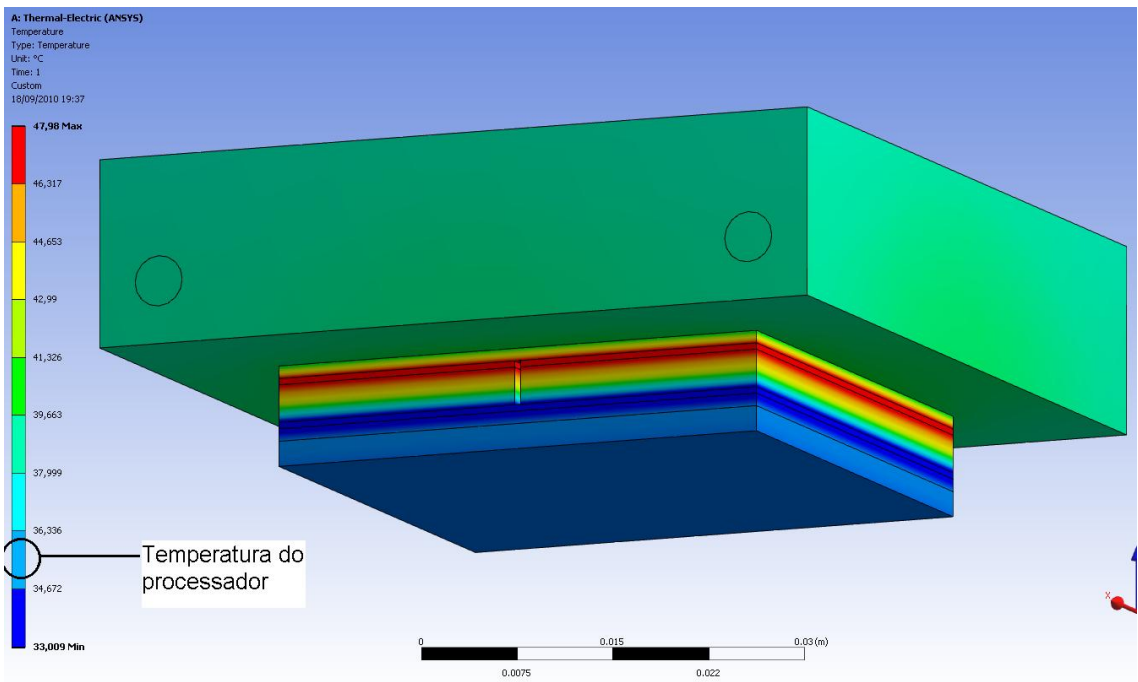


Figura 28 - Distribuição de temperatura no sistema em regime permanente.

6. Protótipo

Primeiro foram feitos os desenhos de fabricação e então essas peças foram usinadas na oficina do prédio da mecânica, onde também foram encontrados os retalhos de alumínio que serviram para usinagem das peças.

O *waterblock* e o radiador são peças análogas e foram usinadas cada uma em duas partes, uma contendo o canal que foi fresado manualmente como pode ser visto na figura 29 e uma tampa que é posteriormente colada com o uso de durepóxi líquido. Os tubos de plástico onde passa a água foram coladas ao radiador e ao *waterblock* com o uso de durepóxi comum.

A principal dificuldade dessa montagem é vedar completamente todas as peças e ligações pois qualquer vazamento pode danificar a placa-mãe. Por isso deve-se testar o circuito da água e certificar-se que este não possui vazamentos antes de efetivamente acoplar ao processador.

6.1. Desenhos de fabricação

Os desenhos de fabricação foram feitos no software SolidWorks. Ver anexos para desenhos completos.

6.2. Montagem e teste

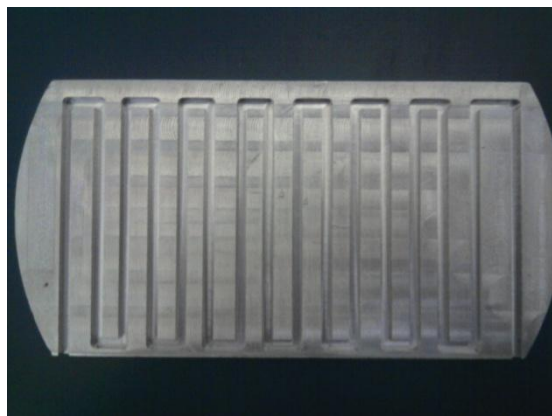


Figura 29 – Radiador aberto.

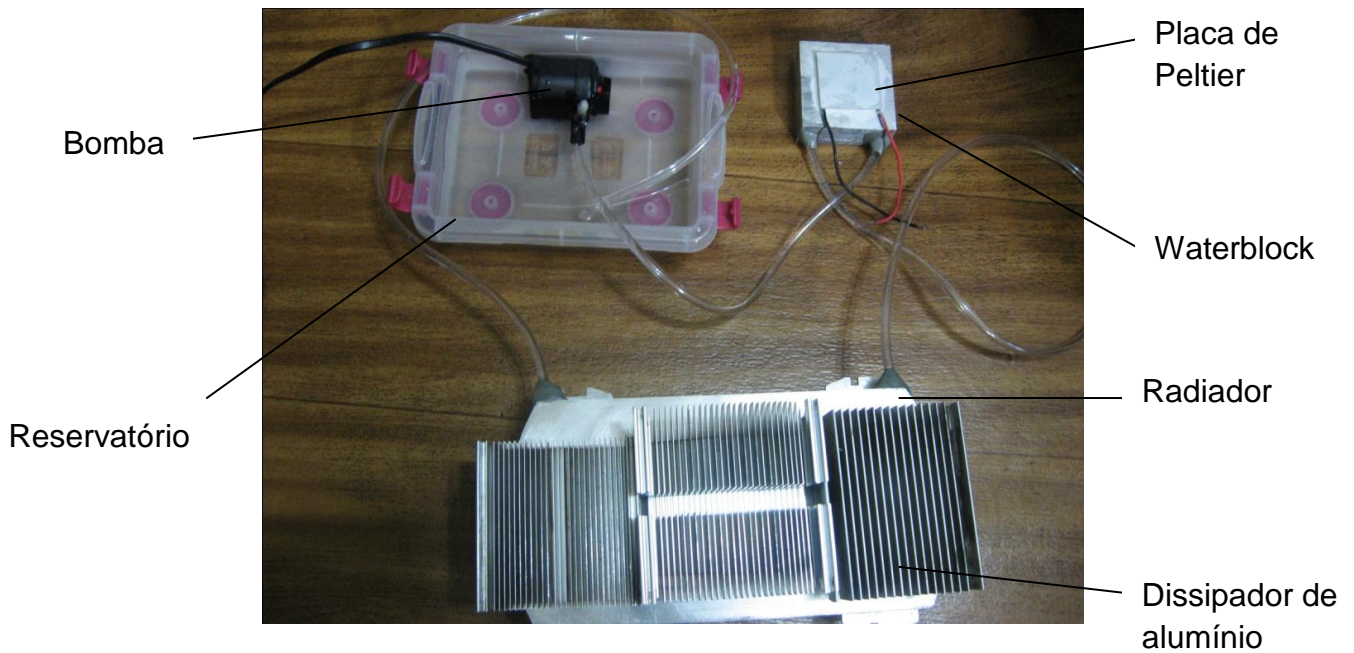


Figura 30 - Sistema montado não acoplado ao processador.

As aletas do radiador não foram usinadas: foram utilizados dissipadores comuns de alumínio com pasta térmica no contato com a superfície da peça da figura 29, como pode ser visto na figura 30. A área superficial das aletas foi considerada para comparação com a simulação no Ansys. A vedação dos tubos foi feita com epóxi. Assim o sistema proposto depois da fabricação pode ser visto na figura 30.

6.3. Resultados

Como descrito na seção 1.4., medindo a temperatura T_h do sistema da figura 7, pôde-se calcular ΔT e então foram obtidos: $Q_c = 57 \text{ W}$ em ocioso e $Q_c = 52 \text{ W}$ em estresse. Mede-se a tensão elétrica para finalmente calcular a potência gerada, $Q = 50 \text{ W}$ em ocioso e $Q = 49 \text{ W}$ em estresse. Finalmente achamos $Q_h = 107 \text{ W}$ em ocioso e $Q_h = 101 \text{ W}$ em estresse.

Visto que a tensão é constante e igual à $10,2 \text{ V}$ (medida com ajuda de um voltímetro) e estabelecendo um ΔT de 15°C , achamos uma corrente de $7,1 \text{ A}$, que segundo [2] é a corrente para qual temos maior Q_c . Com isso, achamos $Q_h = 139 \text{ W}$. Portanto para manter a uma temperatura de 36°C deve-se ter no lado quente da placa de Peltier a temperatura de 50°C .

A bancada de testes pode ser esquematizada da seguinte maneira:

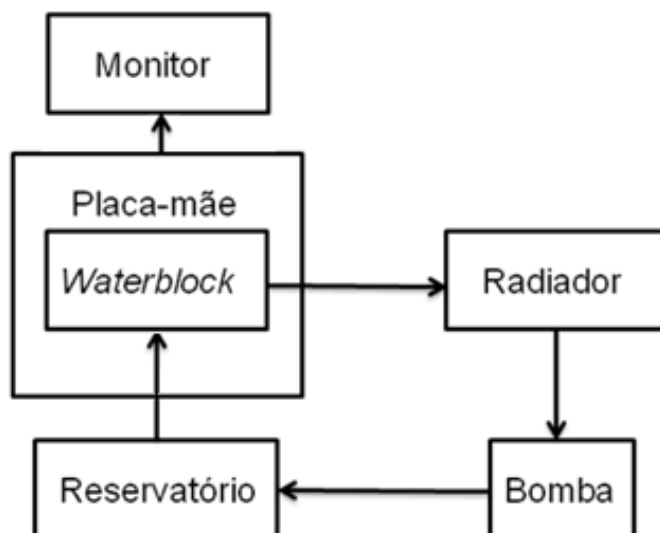


Figura 31 - Esquema da bancada.

Na figura 32, vemos uma foto do sistema:



Figura 32 – Foto do sistema completo.

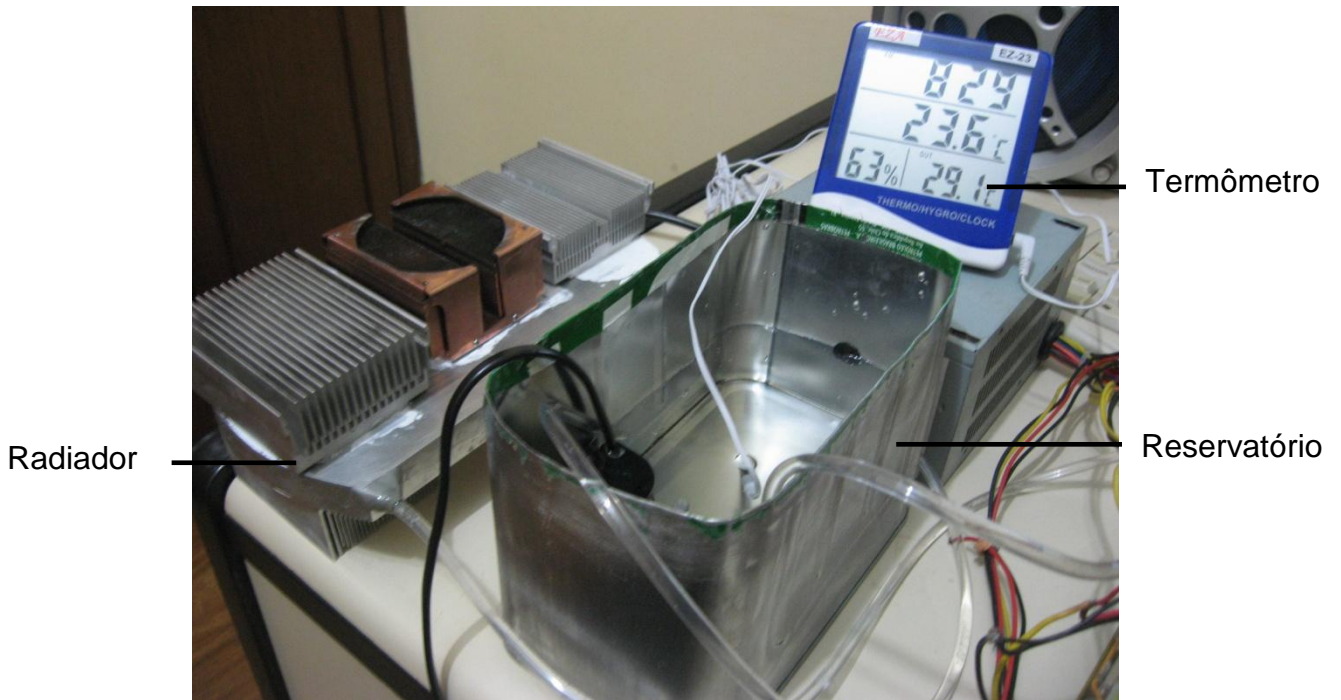


Figura 33 - Radiador, reservatório com bomba e termômetro.

O bloco responsável pela absorção do calor do processador pode ser visto na figura 34:

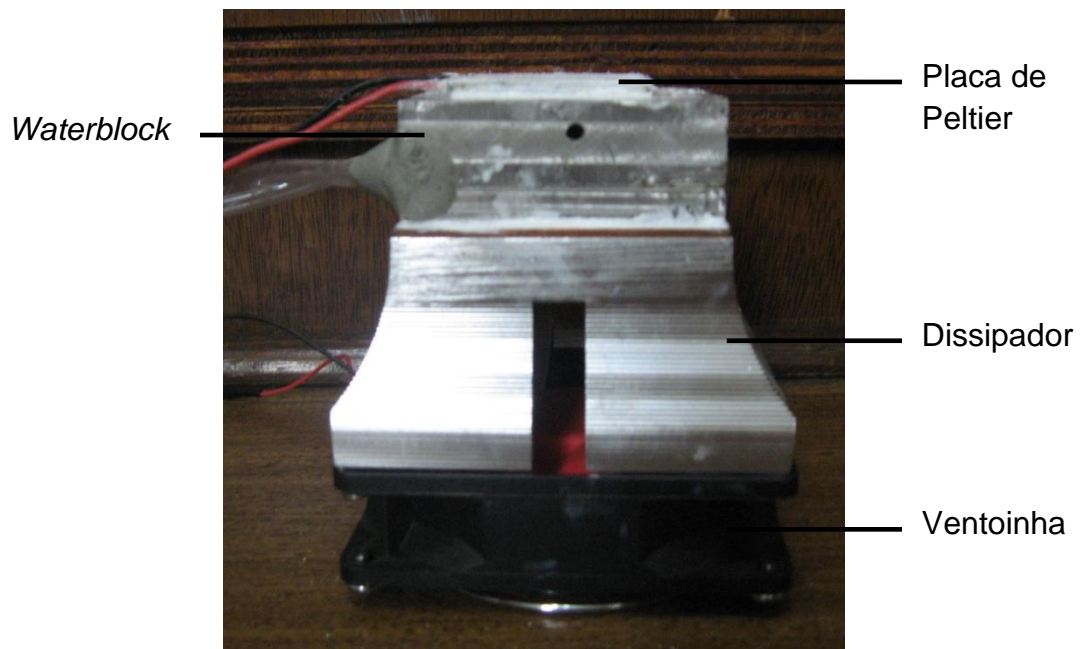


Figura 34 - Conjunto Placa de Peltier, *waterblock*, dissipador e ventoinha.

Assim, juntando os resultados obtidos com os métodos de arrefecimento já apresentados na justificativa, para comparação, temos:

Tabela 2 - Temperatura do processador em ocioso e em estresse para arrefecimento comum, da figura 7 e do sistema proposto.

	Ocioso	Em estresse
Arrefecimento comum (ar)	41°C	49°C
Com montagem da figura 7 (ar + Peltier)	30°C	48°C
Com sistema proposto (ar + Peltier + <i>watercooling</i>)	25°C	41°C

Com a ajuda de um termômetro, foi medida a temperatura ambiente (23°C) e a da água para comparação com as simulações. A temperatura encontrada foi 37.6 °C, bem próxima das temperaturas da água encontradas nas simulações, como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 - Comparação entre temperaturas na simulação e temperaturas medidas

	Temperatura na simulação	Temperatura medida
Água na saída do radiador	36°C	37.6°C
Temperatura ambiente	23°C	23°C
Processador em estresse	36°C	41°C

Já a temperatura do processador, apesar de ser inferior aos sistemas de arrefecimentos mencionados, apresenta certa discrepância em relação ao valor da simulação. Isso se deve ao fato das aletas dos dissipadores não fazerem parte do mesmo corpo onde flui a água. Em vez disso temos pasta térmica entre os dissipadores e o centro do radiador, criando resistências térmicas a mais no sistema. O mesmo acontece em todas as junções (entre *waterblock* e

processador, entre *waterblock* e dissipador, etc.) onde o contato possui resistência térmica pelas mesmas razões das citadas anteriormente.

Comparando com os resultados encontrados por [3] para um sistema de arrefecimento como o proposto, embora não seja possível estabelecer comparações práticas, pois o autor não especifica o modelo do processador nem a geometria do radiador (para saber quanto calor está sendo rejeitado nele e se é dependente de convecção forçada ou natural), analisando as temperaturas atingidas por diversos tipos de arrefecimento, inclusive alguns testados neste trabalho, observa-se que o sistema de Peltier acrescido com termoelétrico é o que atinge as menores temperaturas, principalmente em ocioso.

7. Conclusões

O sistema placa de Peltier acrescido do *watercooling* mostrou ser melhor que o sistema de arrefecimento a ar e ao sistema com placa de Peltier resfriada a ar. Ainda que os resultados difiram levemente das simulações realizadas, pode-se afirmar com uma boa precisão que estas são válidas devido ao fato do radiador não ter sido construído em peça única, dada a dificuldade de fabricação de tal peça.

O sistema pode ficar muito mais eficiente utilizando ventoinhas nos dissipadores do radiador porque o coeficiente de convecção forçada é várias vezes superior ao da convecção natural (de 3 a 20 vezes mais). Com isso é possível baixar a temperatura em estresse para perto do valor do ocioso. Entre os trabalhos futuros que podem ser realizados sobre o tópico são, além do aumento do calor rejeitado, a inclusão de outros componentes que necessitam dissipação num computador. Primeiramente os mais óbvios, como GPU (processador da placa de vídeo) e *northbridge* da placa mãe, seguido da fonte de alimentação e finalmente HDs e memórias. Com isso, todo o sistema de arrefecimento do computador seria por *watercooling* e placas de Peltier nos componentes que geram mais calor (GPU e CPU).

Uma abordagem ainda mais ousada e abrangente poderia ser adotada em trabalhos futuros, buscando reaproveitar a energia térmica dissipada para gerar energia ou qualquer outro trabalho útil. Poderia-se utilizar as próprias pastilhas de Peltier em um arranjo inteligente capaz de gerar energia elétrica a partir da diferença de temperatura entre as faces quente e fria.

Vários métodos de arrefecimento estão sendo desenvolvidos para contribuir com a evolução dos processadores, esse sistema provou ser eficaz e com pouco custo tecnológico e financeiro, apesar da alta potência requerida pela placa de Peltier.

8. Bibliografia

- [1] YUJI OKAMOTO, K. I. A. I. T. Y. S. N. M. Y. **Topology Optimization for the Design of Compliant Thermal Actuators**. 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization. Lisboa: [s.n.]. 2009. p. 3-6.
- [2] HSIANG-SHENG HUANG, Y.-C. W. Y.-W. C. S.-L. C. . M.-T. K.
Thermoelectric water-cooling device applied to electronic equipment.
International Communications in Heat and Mass Transfer, Taipei, v. 37, p. 140-146, Setembro 2009.
- [3] PAISARN NAPHON, S. W. Liquid cooling in the mini-rectangular fin heat sink with and without thermoelectric. **Heat and Mass transfer**, n. 36, p. 166-171, 2009.
- [4] F.L. TAN A, S. C. F. Methodology on sizing and selecting thermoelectric cooler. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p. 1715-1723, 2008.
- [5] JOSÉ L. PÉREZ-APARICIO, R. L. T. D. G. Finite element analysis of nonlinear fully coupled thermoelectric. **Comput. Mech.**, v. 40, p. 35-45, 2007.
- [6] FORNARI, F. C. D. B. Modelagem de elementos termoelétricos e controle de um sistema físico baseado em placas termoelétricas. São Paulo, p. 81. 2005.
- [7] D. ASTRAIN, J. G. V. J. A. Computational model for refrigerators based on. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, 2005.
- [8] STARY, Z. Temperature-thermal conditions and the geometry of peltier elements. **Energy Convers. Mgmt**, v. 33, p. 251-256, 1992.
- [9] D.C. VAN DUYN, P. J. A. M. Finite-element modelling of thermoelectric materials and devices. **Sensors and Actuators**, v. 32, p. 413-418, 1992.
- [10] D. ILZYCER, A. S. M. S. Measurements of thermoelectric properties of a thermoelectric cooler. **Energy Convers. Mgmt**, v. 23, p. 241-244, 1983.

[11] VICTOR RUDOMETOV, E. R. Peltier Coolers. Disponível em:

<http://ixbtlabs.com/articles/peltiercoolers/>

Acesso em junho de 2010.

[12] Disponível em: <www.100y.com.tw>

Acesso em junho de 2010.

[13] WATERCOOLING Brasil, 2010. Disponível em:

<www.watercooling.com.br>. Acesso em junho de 2010.

[14] EVERCOOL. Disponível em: <www.evercool.com.tw>. Acesso em junho de 2010. Acesso em junho de 2010.

[15] CUSTOM thermoelectric. Disponível em: <www.customthermoelectric.com>.

Acesso em junho de 2010.

[16] Transferência de Calor nos Coolers, 2010. Disponível em:

< <http://www.scribd.com/doc/7235018/Transferencia-de-Calor-Nos-Coolers>>

Acesso em setembro de 2010.

9. Anexos

Datasheet das placas de Peltier série TEC1



勝特力材料 886-3-5753170
 勝特力电子(上海) 86-21-54151736
 勝特力电子(深圳) 86-755-83298787
[Http://www.100y.com.tw](http://www.100y.com.tw)

TEC1 series---TEC1-127 (40*40) (50*50) (62*62)

Type	Couples	I _{max} (A)	U _{max} (V)	Q _{cmax} (w) ΔT = 0	ΔT _{max} °C Q _c =0	Dimension (mm)			R Ω		
						Th=27°C					
						L	M	H			
TEC1-12703	127	3	15.4	26.7	68	40	40	4.92	3.42		
TEC1-12704		4		35.6	68	40	40	4.54	3.02		
TEC1-12705		5		44.5	68	40	40	4.20	2.40		
TEC1-12706		6		53.3	68	40	40	3.82	1.98		
TEC1-12707		7		62.2	68	40	40	3.80	1.70		
TEC1-12708		8		71.1	68	40	40	3.80	1.50		
TEC1-12709		9		80.1	68	40	40	3.37	1.36		
TEC1-12710		10		88.9	67	40	40	3.30	1.08		
TEC1-12708		127		8	15.4	71.1	68	50	50	5.11	1.50
TEC1-12710				10		88.9	68	50	50	4.50	1.12
TEC1-12712	12		106.7	68		50	50	4.20	0.90		
TEC1-12714	14		124.4	68		50	50	4.28	0.81		
TEC1-12715	15		133.3	68		50	50	3.61	0.75		
TEC1-12710	127	10	15.4	88.9	68	62	62	6.10	1.05		
TEC1-12730		30		266.7	68	62	62	4.80	0.27		

TEC 1-127 06

致冷器件的外形圖示

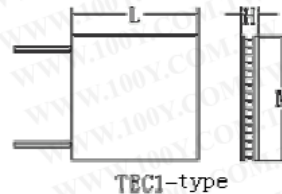
TE-----Thermo Electrical

C----- Area of section of N/P > 1mm²

1-----Stage 1

127-----Couples(127couples)

06-----Current(6A)



Desenhos de fabricação

