

## SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA DE PELTIER USADO PARA ARREFECER O PROCESSADOR DE COMPUTADOR

**OKUMURA, Cássio Santos Oki**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. csokiokumura@msn.com

**SANTOS, Felipe Felix**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. felipe-252-felix@hotmail.com

**JUNIOR, Ricardo Alves Pereira**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. ricardo.alper18@gmail.com

**BENTO, João Alves**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. joaoalvesbento@gmail.com

### Resumo

O sistema de processamento é uma parte vital do computador, a sua utilização pode gerar um aumento de temperatura em seus componentes, devido a passagem da corrente elétrica. Diante desse fato, tem-se a necessidade de uma refrigeração para que não ultrapasse a sua temperatura máxima de operação, observando isso, o objetivo deste artigo foi propor um modelo de aplicação da placa Peltier mais eficiente de arrefecimento. Sua viabilidade foi demonstrada através dos ensaios de estresse, utilizando a plataforma do *software* AIDA 64, para analisar as temperaturas dos núcleos do processador e a velocidade de rotação dos coolers. Notou-se que a adaptação proposta pôde influenciar na qualidade do gerenciamento de calor na unidade de processamento.

**Palavras-Chave:** Transferência de calor, Placa Peltier, Condução térmica, Refrigeração de processadores.

## 1. Introdução

Devido à capacidade de alto desempenho dos computadores de mesa, tem-se observado a necessidade de um sistema de refrigeração eficiente, de forma a maximizar o uso destes elementos. Os sistemas de refrigeração buscam melhorar o seu rendimento e desempenho em relação a taxa de resfriamento, ou seja, diminuir a temperatura do processador enquanto estiver em uso, melhorando sua performance. Esse efeito pode ser notado ao se analisar o rendimento térmico do processador em relação a temperatura. [12]

Para o desenvolvimento de um sistema de refrigeração, pode ser utilizado o efeito Peltier, que trata da passagem de corrente elétrica por uma conexão composta de dois semicondutores diferentes, gerando uma diferencial de temperatura em suas junções. Porém, o que irá definir se haver resfriamento ou aquecimento será o sentido da corrente elétrica. [8]

Para se observar os efeitos da refrigeração termoelétrica, em um sistema de processamento, procede-se o uso de transferência de calor em um dissipador aletado. Observando-se o comportamento da dissipação de um microprocessador, como é realizada a refrigeração padrão dos computadores pessoais, de forma a entender a influência dos dissipadores na refrigeração do processador e como é exercida a distribuição de calor. [1]

Ao se pesquisar sobre esse assunto especificamente, foi observado que existem poucos relatos científicos sobre o tema no portal de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Assim, proporcionou uma necessidade de abordagem do assunto para um melhor entendimento e para propor uma nova aplicação na área de refrigeração de processadores.

O objetivo do trabalho foi determinar a viabilidade da aplicação da placa Peltier no sistema de refrigeração usado em chips de processamento de computadores, levando em consideração o tipo de pasta térmica usada, o material usado entre os mesmos, e as temperaturas atingidas pela pastilha Peltier e o processador. Foi usado o método de condução termodinâmica para verificar a eficiência térmica do sistema e obter uma melhor compreensão do funcionamento do efeito Peltier na refrigeração.

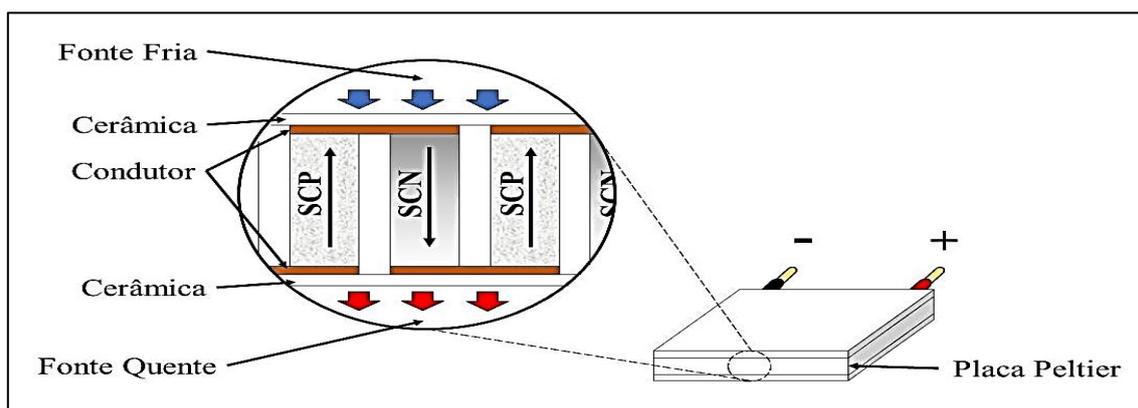
## 2. Referencial teórico

### 2.1. Efeito Peltier

Em 1821, o físico estoniano Thomas Johann Seebeck descobriu o efeito termoelétrico através de um experimento que visava a geração de tensão entre a junção de dois corpos metálicos distintos, como cobre e ferro, com temperaturas diferentes. Seebeck se deparou com a variação de potência à medida que alterava o valor da temperatura de cada corpo metálico. Na década seguinte, em 1834, o físico francês Jean Charles Athanase Peltier notou o processo de resfriamento ou aquecimento na extremidade de união dos corpos metálicos ao direcionar o sentido da corrente elétrica, em relação a força eletromotriz, como resultado do efeito inverso do experimento de Seebeck. [4,7]

Um modelo de circuito elétrico, com fonte de corrente contínua, pode conter semicondutores positivo e negativo. O Semicondutor Positivo (S.C.P.) possui uma corrente elétrica convencional com sentido das temperaturas decrescentes. O Semicondutor Negativo (S.C.N.) possui uma corrente elétrica convencional com sentido das temperaturas crescentes. A composição desses conjuntos de semicondutores possibilita formar uma bateria termoelétrica ou sistema de refrigeração termoelétrica. [4]

Figura 1: Ilustração do efeito Peltier.



Uma placa ou pastilha Peltier, representado na Figura 1, possui um conjunto de pares de semicondutores do tipo P e N, posicionados em paralelo e soldados entre duas placas cerâmicas. Fornecendo uma tensão na junção P e N, ocorre a absorção do calor ambiente e na redução de temperatura de sua superfície. O calor absorvido do ambiente é transportado por elétrons até a junção N e P, nesse lado da junção ocorre a liberação do calor ao ambiente e o aquecimento do seu plano. [10]

## 2.2. Transferência de calor

O SCHMIDT (2013) aborda que uma massa sólida isolada entra em equilíbrio térmico se a temperatura nos diferentes pontos do corpo for a mesma, ou seja, o corpo não estará conduzindo calor pois não existe o fluxo de calor. O processo da condução térmica é regido pelas leis da Termodinâmica. A Primeira Lei da Termodinâmica é o princípio da conservação de energia, trata de um regime termodinâmico onde a energia total usada em um sistema é conservada, portanto, quando um sistema perde calor, esse calor perdido é convertido para outras formas de energia. [11]

A Lei Zero da Termodinâmica aborda que se dois sistemas estiverem unidos e existir uma diferença de temperatura entre eles, esses dois sistemas tendem a entrar em equilíbrio térmico, ou seja, o fluxo térmico fluirá de maior temperatura para o de menor temperatura até se estabilizarem. [11]

Segundo BOHN (2013), a transferência de calor em aletas é largamente aplicada para melhorar a transferência de calor em resfriamento de componentes com temperaturas elevadas, a aleta e uma extensão de uma superfície com o objetivo de melhorar seu resfriamento por convecção, isso se aplica em coolers de computadores para refrigerar o chip de processamento, diminuindo a temperatura do processador sendo determinado por meio de cálculos de transferência de calor. [2]

No interior do gabinete pode-se destacar diferentes tipos de transferência de calor como a condução e a convecção forçada. Esses meios de propagação de calor vão influenciar na qualidade de dissipação de calor encontrado no dissipador aletado encontrado nos computadores. Ao se analisar essas influências podemos melhorar e otimizar o uso do dissipador. [6,9]

Condução térmica trata-se da transferência de calor ou energia por meio de moléculas solidificadas ou líquidas, resultando em uma taxa de temperatura. Atribuindo-se em três fenômenos: interação molecular, deslocamento de elétrons livres e radiação intermolecular. [6,9]

Para achar a taxa de transferência de calor por condução pode-se utilizar a lei de Fourier, que é dada por:

$$\dot{q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dX} \quad (1)$$

$\dot{q}$  é a taxa de transferência de calor (W);

k é a condutibilidade térmica (W/m°C ou W/mK);

A é a área (m<sup>2</sup>);

T a temperatura (°C ou K);

X é a direção do escoamento do calor (m).

O sinal negativo trata-se da dedução da segunda lei da termodinâmica, que aborda o sentido do fluxo de calor sempre da maior para a menor temperaturas. [6,9]

## 2.3. Componentes do computador

O processador é um dispositivo hardware conectado na placa mãe, é o equipamento principal do computador, onde são conectados os elementos físicos do sistema e componentes chamados de periféricos, que são todos os componentes que envolvem a movimentação de informações e armazenamento secundário aplicado no sistema. Na maior parte dos computadores o processador é chamado de CPU (Central Processing Unit) unidade central de processamento tem como objetivo gerenciar as entradas e saídas de informações e determinar o funcionamento dos periféricos utilizados, além de ler e interpretar a lógica utilizada no programa de funcionamento do sistema. [3]

Como todos os componentes eletrônicos, a passagem da corrente elétrica gera energia térmica durante o funcionamento do processador. Como exemplo, o processador Intel Pentium E2140 emite 65 Watts de potência. Como 1 Watt equivale a 1 Joule por segundo, logo o processador citado pode desenvolver calor de 65 Joules por segundo. Esse calor que vai sendo gerado e acumulado, de acordo com o uso do processador, pode ser prejudicial ao seu funcionamento. Assim, necessita-se de um sistema de refrigeração. [12]

O dissipador possui uma superfície aletada pois melhora a transferência do calor emitido pelo processador para o meio, reduzindo a temperatura do processador. Essa temperatura pode ocasionar danos ao processador, o fato de possuir aletas influencia diretamente na quantidade de calor retirado, isso se deve

em virtude da maior área de contato das aletas com a circulação de ar entre elas, melhorando a eficiência da refrigeração do CPU. [5]

### 3. Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessário um computador de mesa funcional padrão (contendo hardwares como processador Intel Pentium E2140, um cooler para processador AVC DE07015T12U, um dissipador de calor de alumínio, uma placa mãe, duas memórias RAM, um disco rígido, uma fonte de alimentação, um gabinete, um cooler do chassi AVC DS09225R12H, um estabilizador, um teclado, um mouse e um monitor), um termômetro analógico, uma placa Peltier SP1848-27145 (40x40x3,4 mm), uma pasta térmica de silicone Implastec de 15 g, duas chapas de cobre (40x40x1,5 mm e 40x40x2,5 mm) e software AIDA64 para realizar o ensaio de estresse do processador e a leitura do estado dos hardwares. O computador de mesa padrão será utilizado em todo procedimento, já que os dados de ensaios serão obtidos através das operações dos seus componentes físicos e analisados por software AIDA64 instalado no seu sistema de armazenamento.

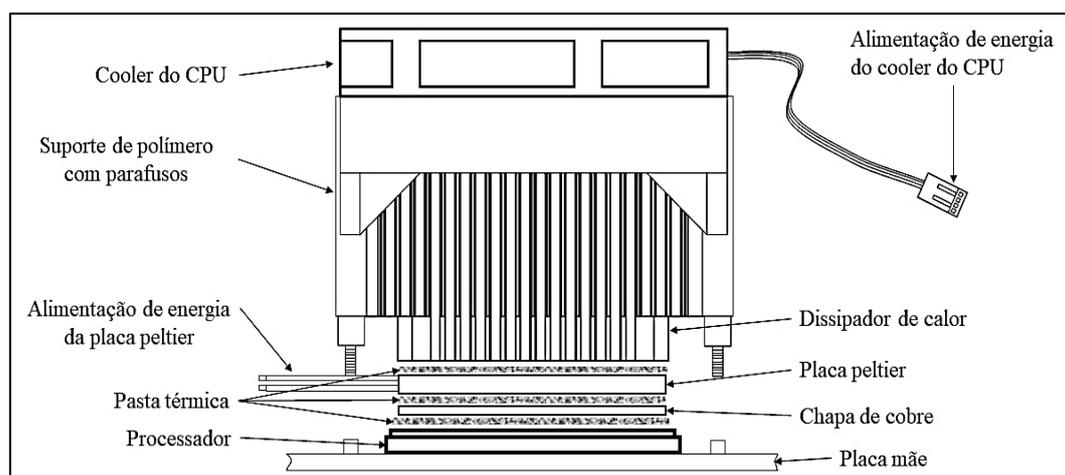
O software permite simular o uso total da capacidade do processador, acompanhar a temperatura de cada núcleo constituída no interior do seu chip e a velocidade de rotação do cooler. Cada ensaio possui duração de 30 minutos, dentro deste intervalo serão coletadas as variáveis a cada 2 minutos. No final de todos os ensaios o software AIDA64 é parado por dez minutos de tempo ou até que se estabeleça uma temperatura definida no início dos ensaios.

O valor da temperatura ambiente foi obtido por termômetro analógico, no interior do laboratório e com ar condicionado desligado. Com o objetivo de identificar a eficiência do dissipador e do cooler do processador, o cooler auxiliar acoplado no chassi do gabinete (AVC DS09225R12H) foi desativado e ativado para cada modalidade de experimento.

Os dois primeiros ensaios forneceram os dados e informações do comportamento do processador em relação a seu uso total, sem a utilização da placa Peltier, isso foi feito para se obter um parâmetro de comportamento para ser usado como comparativo com os demais testes realizados. No primeiro ensaio, o cooler do chassi foi mantido desativado em todo o procedimento em que o processador está sob o estresse. Já no segundo ensaio, o cooler do chassi foi ligado e permaneceu nas mesmas configurações do primeiro ensaio. Assim, estabelecendo a ordem dos ensaios, o cooler do chassi foi desativado em um ensaio e no próximo foi ativado.

Do terceiro ao sexto ensaios, a parte fria da placa Peltier foi acoplada entre a chapa de cobre e a parte quente no dissipador, como na Figura 2. Devido à altura da placa Peltier, não foi possível parafusar o suporte do dissipador na placa mãe e as uniões dos componentes foram realizadas por uma fina camada de pasta térmica de silicone. A placa Peltier foi conectada a uma fonte de alimentação do próprio computador, com tensão de saída de 12 volts. No terceiro e quarto ensaios foram utilizadas uma chapa de cobre de 1,5 mm de espessura. Já no quinto e sexto ensaios foi substituída a chapa de cobre por uma de 2,5 mm de espessura. No sétimo e oitavo ensaios, foi retirada a chapa de cobre e a parte fria acoplada diretamente no processador e a parte quente no dissipador com uma fina camada de pasta térmica de silicone.

Figura 2: Ilustração do protótipo adotado no terceiro a sexto ensaio.



Fonte: Dos Autores.

No nono ensaio, foi realizada a substituição da pasta térmica, cooler e dissipador padrão, utilizados em ensaios anteriores, por um *water cooler* Corsair H45 e a junção dos materiais foi feita por uma fina camada de pasta térmica de Thermaltake TG-5. Para não correr o risco de condensação, no circuito eletrônico, manteve-se o laboratório refrigerado por ar-condicionado a 20 °C. Esse último ensaio seguiu o mesmo princípio do oitavo ensaio, parte fria do Peltier acoplado no processador, parte quente no dissipador e o cooler do chassi mantido ligado em todo o processo do experimento. Porém, o suporte do *water cooler* permitiu parafusá-lo na placa mãe do computador, aumentando a fixação entre os componentes.

Nos resultados de cada ensaio são determinados o máximo e o mínimo das grandezas destacados, permitindo confeccionar o gráfico de desempenho do processador.

## 4. Resultados e discussão

### 4.2. Ensaio 1

O ensaio 1 foi realizado sem a placa Peltier e com o cooler do chassi desativado, obtendo os resultados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaio sem placa Peltier e com o cooler do chassi desligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)
0	45	45	1296
2	45	45	1296
4	52	51	1298
6	54	53	1298
8	55	54	1865
10	55	53	2250
12	55	53	2258
14	56	54	2258
16	57	55	2258
18	57	54	2265
20	56	56	2265
22	56	54	2258
24	56	54	2265
26	56	54	2596
28	58	58	2265
30	56	55	2377

Fonte – Dos Autores.

No início do ensaio, o termômetro analógico marcou 24 °C da temperatura ambiente. Conforme mostra na Tabela 1. O registro de menor temperatura do CPU núcleo 1 foi de 45 °C, CPU núcleo 2 de 45 °C e rotação mínima do *cooler* do CPU de 1296 rpm. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 58 °C, CPU núcleo 2 de 58 °C e rotação máxima do *cooler* do CPU de 2596 rpm.

### 4.2 Ensaio 2

O ensaio 2 foi realizado sem a placa Peltier e com o cooler do chassi ativado, a temperatura ambiente registrada foi de 24 °C. Conforme mostra na Tabela 2, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 32 °C, CPU núcleo 2 de 32 °C e a rotação mínima do *cooler* do CPU de 1281 rpm e do *cooler* do chassi de 0. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 51 °C, CPU núcleo 2 de 51 °C e rotação máxima do *cooler* do CPU de 1306 rpm e do *cooler* do chassi de 2003 rpm.

Apesar dos ensaios não atingirem a temperatura máxima de 70 °C no processador, valor definido pelo fabricante, podemos destacar a eficiência dos ensaios 1 e 2. Cujas temperaturas máximas registradas foram de 58 °C e de 51 °C. Essas temperaturas influenciam diretamente nas rotações dos *coolers* fazendo-os ficarem em constante oscilação, como no caso do ensaio 1. Porém, ao colocar o *cooler* do gabinete pode-se observar nos gráficos 3 e 4 que o *cooler* do processador se estabiliza em baixa rotação enquanto que o cooler do gabinete varia sua rotação.

Tabela 2 – Ensaio sem placa Peltier e com o *cooler* do *chassi* ligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)	COOLER CHASSIS (rpm)
0	32	32	1306	0
2	47	46	1293	1386
4	48	46	1288	1810
6	50	50	1286	1805
8	50	50	1283	2003
10	48	47	1286	2003
12	50	48	1283	2003
14	48	46	1286	1805
16	50	50	1283	2003
18	50	50	1283	2003
20	48	47	1286	1805
22	48	47	1283	1800
24	51	51	1283	1596
26	47	46	1283	1800
28	48	46	1283	1800
30	48	48	1281	2003

Fonte – Dos Autores.

Os ensaios que tiveram a adição do uso do *cooler* do gabinete, foram os que obtiveram os melhores resultados, o *cooler* do *chassi* foi posicionado de forma a realizar a exaustão do ar localizado próximo ao *cooler* do processador, fazendo um fluxo contínuo de ar e refrigerando o interior do gabinete.

### 4.3 Ensaio 3

O ensaio 3 foi realizado a adição da placa Peltier com uma chapa de cobre de 1,5 mm de espessura e com o *cooler* do *chassi* desativado, obtendo os resultados conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaio com uma chapa de cobre de 1,5 mm de espessura, uma placa Peltier e *cooler* do *chassi* desligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)
0	34	33	1298
2	60	60	3947
4	59	58	3169
6	59	59	3214
8	59	59	3169
10	59	57	3214
12	60	60	3571
14	59	59	3571
16	58	57	3214
18	59	58	3590
20	59	57	2885
22	59	59	3571
24	58	57	3199
26	58	56	3214
28	59	58	3590
30	60	60	3771

Fonte – Dos Autores.

A temperatura ambiente registrada foi de 23 °C. De acordo com a Tabela 3, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 34 °C, CPU núcleo 2 de 33 °C e rotação mínima do *cooler* do CPU de 1298 rpm. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 60 °C, CPU núcleo 2 de 60 °C e rotação máxima do *cooler* do CPU de 3947 rpm.

#### 4.4 Ensaio 4

O ensaio 4 foi realizado a adição da placa Peltier com uma chapa de cobre de 1,5 mm de espessura e com o cooler do chassi ativado, obtendo os resultados conforme a Tabela 4.

**Tabela 4** – Ensaio com uma chapa de cobre de 1,5 mm de espessura, uma placa Peltier e cooler do chassi ligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)	COOLER CHASSIS (rpm)
0	30	30	1308	0
2	60	60	3590	3325
4	57	55	2897	3309
6	57	55	2547	3309
8	58	58	2897	3309
10	58	56	2885	3293
12	58	58	2897	3325
14	57	56	2336	3309
16	58	58	2257	3309
18	57	56	2885	3309
20	60	60	2509	3293
22	58	56	2557	3293
24	57	56	2897	3293
26	57	55	2547	3309
28	57	55	2872	3325
30	58	58	2897	3309

Fonte – Dos Autores.

Conforme mostra a Tabela 4, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 30 °C, CPU núcleo 2 de 30 °C e a rotação mínima do cooler do CPU de 1308 rpm e do cooler do chassi de 0. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 60 °C, CPU núcleo 2 de 60 °C e rotação máxima do cooler do CPU de 3590 rpm e do cooler do chassi de 3325 rpm. A temperatura ambiente registrada com um valor de 23 °C.

Os ensaios 3 e 4 que foram utilizados uma placa de cobre de 1,5 mm entre o processador e a Peltier, obtiverem uma temperatura relativamente alta em relação aos primeiros experimentos. Mas quando o processador não esteve sob estresse, a temperatura mínima do ensaio 4 foi menor que as temperaturas registradas anteriormente, provando a eficiência da placa Peltier no sistema de refrigeração. Ao submeter o processador ao estresse, as temperaturas atingidas nos seus núcleos superaram as máximas dos ensaios anteriores.

Os resultados das rotações dos coolers foram proporcionais aos valores de temperatura. Nesse caso em ambos os ensaios 3 e 4, o cooler do processador ficou variando de rotação, enquanto a rotação do cooler do gabinete ficou no máximo durante todo o teste de estresse. Esse comportamento também pode ser identificado nos ensaios 5, 6, 7 e 8 com pequenas variações de rotação do cooler do gabinete como pode-se observar no Gráfico 4.

#### 4.5 Ensaio 5

O ensaio 5 foi realizado a adição da placa Peltier com uma chapa de cobre de 2,5 mm de espessura e com o cooler do chassi desativado e a temperatura ambiente foi registrada um valor de 24 °C. Nesse ensaio, obteve-se a temperatura mínima do CPU núcleo 1 de 28 °C, CPU núcleo 2 de 28 °C e rotação mínima do cooler do CPU de 1301 rpm. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 57 °C, CPU núcleo 2 de 57 °C e rotação máxima do cooler do CPU de 2897 rpm. Conforme mostra a Tabela 5.

Ao comparar-se os ensaios que utilizaram as chapas de cobre, percebe-se que a de maior espessura obteve melhor resultado no arrefecimento da unidade central de processamento. A falta de fixação dos componentes do protótipo na placa mãe, possibilitou a formação de bolhas ou lacunas de ar na pasta térmica nas suas junções. Esse fator pode ter influenciado no valor das temperaturas de cada ensaio, devido ao ar ser considerado um bom isolante térmico e dificultando a condução térmica entre os componentes do sistema. Assim, gerando resultados insatisfatórios e possibilitando o melhor entendimento do sistema utilizado para o arrefecimento.

**Tabela 5** – Ensaio com chapa de cobre de 2,5 mm de espessura, placa Peltier e *cooler* do *chassi* desligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)
0	28	28	1301
2	56	55	2576
4	57	57	2872
6	55	54	2235
8	57	56	2567
10	56	55	2872
12	57	55	2235
14	56	55	2860
16	54	54	2567
18	57	57	2897
20	57	55	2576
22	57	55	2500
24	55	54	2567
26	56	56	2567
28	57	56	2860
30	57	57	2312

Fonte – Dos Autores.

Nos ensaios que foram aplicados a placa Peltier, tiveram mais a necessidade do uso dos coolers para refrigeração do sistema. Como resu

#### 4.6 Ensaio 6

O ensaio 6 foi realizado a adição da placa Peltier com uma chapa de cobre de 2,5 mm de espessura e com o cooler do *chassi* ativado, obtendo os resultados conforme a Tabela 6.

**Tabela 6** – Ensaio com chapa de cobre de 2,5 mm de espessura, placa Peltier e *cooler* do *chassi* ligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)	COOLER CHASSIS (rpm)
0	28	28	1288	136
2	55	55	1824	3309
4	56	56	2206	3309
6	55	55	2206	3309
8	56	54	1819	3309
10	54	53	1824	3309
12	55	55	2199	3309
14	56	55	2199	3309
16	56	55	2199	3309
18	57	56	1819	3309
20	55	55	1819	3309
22	58	58	1819	3309
24	54	53	2199	3309
26	55	54	1819	3309
28	55	55	1824	3309
30	56	55	1819	3309

Fonte – Dos Autores.

A temperatura ambiente registrada a um valor de 24 °C. De acordo com a Tabela 6, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 28 °C, CPU núcleo 2 de 28 °C e a rotação mínima do *cooler* do CPU de 1288 rpm e do *cooler* do *chassi* de 136 rpm. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 58 °C, CPU núcleo 2 de 58 °C e rotação máxima do *cooler* do CPU de 2206 rpm e do *cooler* do *chassi* de 3309 rpm.

Apesar de estar utilizando uma placa de cobre com espessura maior que a dos ensaios 3 e 4, as temperaturas mínimas e máximas dos ensaios 5 e 6 foram menores. Podendo ser atribuído a condição da montagem do sistema, como a dispersão da pasta térmica. Quanto mais a pasta térmica preencher a área de contato, sem a presença de bolhas de ar, melhor será a condução térmica.

Em relação à velocidade de rotação, os ensaios 5 e 6 obterão variação perceptível no *cooler* do processador, essa variação difere dos ensaios anteriores, porém a variação do *cooler* do gabinete foi mínima, como é mostrado nos Gráficos 3 e 4.

#### 4.7 Ensaio 7

O ensaio 7 foi realizado a adição da placa Peltier em contato direto com o processador e com o cooler do chassi desativado, obtendo os resultados conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Ensaio com placa Peltier e *cooler* do chassi desligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)
0	23	23	1296
2	58	57	3571
4	58	58	3184
6	56	56	2885
8	59	59	2872
10	58	58	3184
12	58	57	3214
14	60	60	2885
16	58	57	2885
18	57	56	2885
20	59	58	2885
22	58	58	2885
24	57	56	2885
26	62	62	2885
28	57	56	2885
30	58	58	2885

Fonte – Dos Autores.

A temperatura ambiente registrada foi de 23 °C. Conforme mostra a Tabela 7, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 23 °C, CPU núcleo 2 de 23 °C e rotação mínima do *cooler* do CPU de 1296 rpm. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 62 °C, CPU núcleo 2 de 62 °C e rotação máxima do *cooler* do CPU de 3571 rpm.

#### 4.8 Ensaio 8

O ensaio 8 foi realizado a adição da placa Peltier em contato direto com o processador e com o cooler do chassi ativado, obtendo os resultados conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Ensaio com a placa Peltier e o *cooler* do chassi ligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER CPU (rpm)	COOLER CHASSIS (rpm)
0	23	23	1281	0
2	57	57	2538	3342
4	57	57	2547	3309
6	56	54	2213	3325
8	57	56	2213	3325
10	56	56	2213	3309
12	57	57	2547	3309
14	56	55	1824	3293
16	56	56	2538	3325
18	55	54	2557	3325
20	55	55	2547	3325
22	54	54	2557	3325
24	55	54	2192	3325
26	56	56	2567	3309
28	55	54	1829	3293
30	56	56	2220	3325

Fonte – Dos Autores.

A temperatura ambiente registrada foi de 23 °C. Com os dados registrados no ensaio 8, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 23 °C, CPU núcleo 2 de 23 °C e a rotação mínima do *cooler* do CPU de 1281 rpm e do *cooler* do chassi de 0. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 57 °C, CPU núcleo 2 de 57 °C e rotação máxima do *cooler* do CPU de 2567 rpm e do *cooler* do chassi de 3342 rpm. Conforme mostra a Tabela 8.

Os ensaios que obtiveram melhores resultados nos testes submetidos, foram os ensaios 7 e 8, sendo o que o ensaio 8, dentre todos os outros, foi o que obteve menor temperatura mínima entre os ensaios que tiveram a modificação, isso ocorre devido ao fato que a placa Peltier está em contato direto, diminuindo a resistência térmica que havia com a aplicação da placa de cobre, essa alteração de temperatura e melhor vista nos Gráficos 1 e 2.

Enquanto a rotação do *cooler* do chassi continua sendo pouco perceptível em relação aos testes 4 e 6, na rotação *cooler* do processador se torna mais distinta, tendo variações de rotação oscilatórias conforme mostra a Gráfico 5.

#### 4.9 Ensaio 9

O ensaio 9 foi realizado a adição de um *water cooler* para refrigerar a placa Peltier que estava em contato direto com o processador, obtendo os resultados conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Ensaio com a placa Peltier, utilizando *water cooler* e mantido o ar condicionado ligado.

TEMPO (min)	CPU NÚCLEO 1 (°C)	CPU NÚCLEO 2 (°C)	COOLER RADIATOR (rpm)	BOMBA DO WATER COOLER (rpm)
0	7	7	1331	1430
2	22	22	1324	1433
4	31	31	1326	1436
6	29	29	1326	1436
8	28	28	1331	1436
10	27	27	1326	1436
12	29	28	1326	1436
14	29	29	1326	1433
16	29	29	1324	1439
18	28	28	1334	1436
20	29	29	1324	1433
22	33	33	1331	1442
24	28	28	1331	1439
26	29	29	1321	1439
28	29	29	1334	1439
30	30	30	1326	1436

Fonte – Dos Autores.

A temperatura ambiente foi registrada a um valor de 20 °C. De acordo com os dados obtidos no ensaio de melhoria, valores distribuídos na Tabela 9, a temperatura mínima do CPU núcleo 1 foi de 7 °C, CPU núcleo 2 de 7 °C e a rotação mínima do *cooler* do CPU de 1321 rpm e da bomba do *water cooler* de 1430 rpm. A temperatura máxima do CPU núcleo 1 de 33 °C, CPU núcleo 2 de 33 °C e rotação máxima do *cooler* do radiador de 1334 rpm e da bomba do *water cooler* de 1442 rpm.

Devido aos resultados anteriores, foi analisado a possibilidade de falha na instalação do protótipo utilizado nos ensaios anteriores. Devido à altura da placa Peltier, não foi possível parafusar o suporte do *cooler de CPU* com dissipador na placa mãe, aumentando a probabilidade de ocorrer a formação de bolhas de ar na pasta térmica. Por esse motivo, foram realizadas algumas alterações como o aumento da área de contato para refrigerar a Peltier, o uso de um *water cooler*, mudança para o uso de uma pasta térmica de melhor qualidade e melhor condutividade térmica, o acoplamento foi realizado de forma adequada, deixando o sistema bem fixado e a adição do uso de ar condicionado para diminuir a umidade ambiente para evitar a condensação.

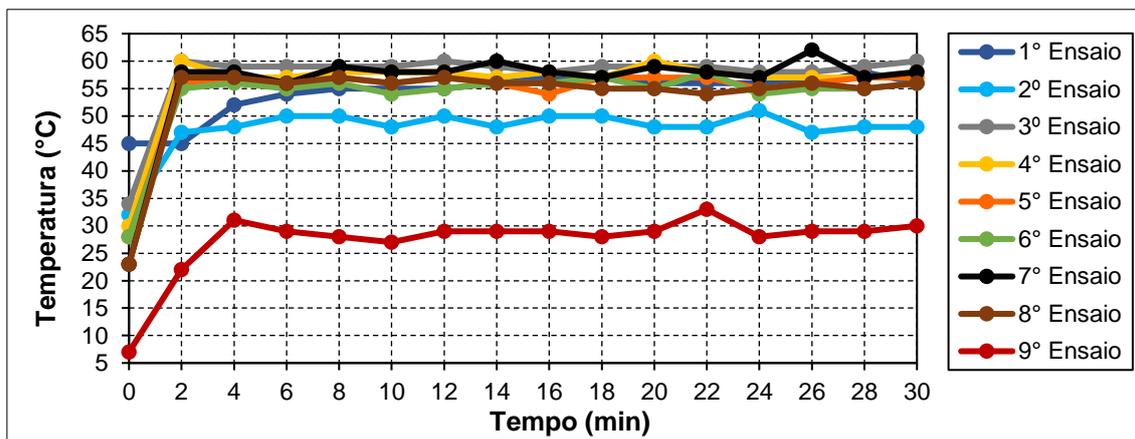
O uso do *water cooler* poderia ser substituído por um *air cooler* que tenha uma boa área de contato, mas como durante o ensaio tinha a disponibilidade para o uso do *water cooler*, e devido o rendimento do *water cooler* ser mais eficiente que outro *air cooler*, foi possível realizar o experimento da melhor forma para aumentar a qualidade dos resultados.

Em comparação aos ensaios anteriores, a temperatura foi muito inferior chegando a estar a 7 °C antes do teste de estresse, e durante o teste chegou a estar a 33°C. O que pode ser melhor visualizado nos gráficos 1 e 2.

#### 4.10 Distribuição de registros

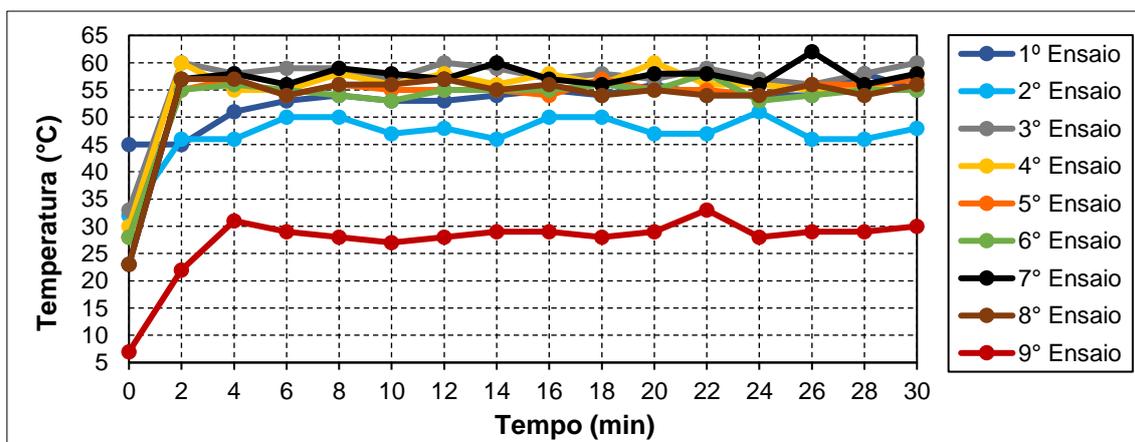
Os Gráficos 1 e 2 são a representação das temperaturas dos núcleos 1 e 2 do processador, ao analisá-los é percebido a semelhança das temperaturas obtidas em cada ensaio, isso ocorre devido ao uso do processador em estresse usando toda a capacidade de processamento. Dentre os ensaios podemos enfatizar o segundo e nono ensaios, devido a eficiência em refrigerar a CPU e atingindo as temperaturas mais baixas.

Gráfico 1: distribuição de registros de temperatura nas unidades centrais de processamento do núcleo 1, por intervalos de tempo.



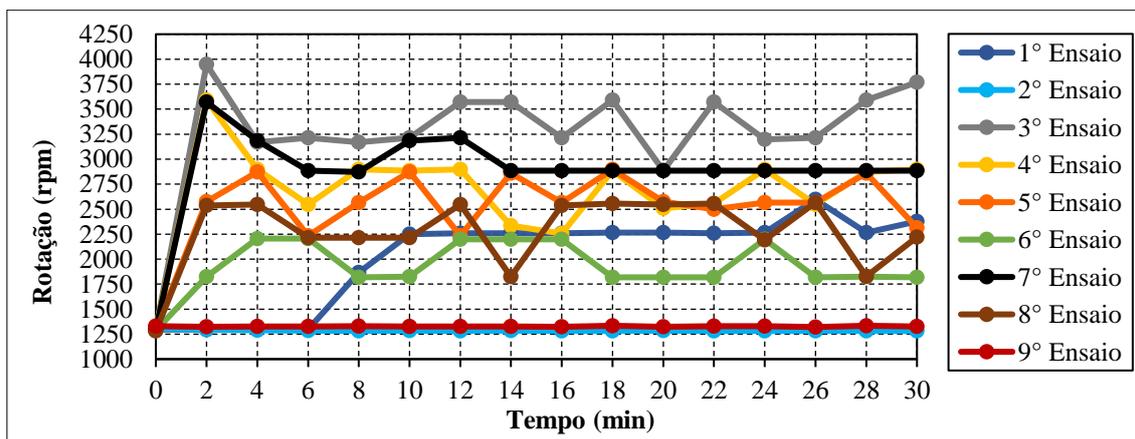
Fonte: Dos Autores.

Gráfico 2: distribuição de registros de temperatura nas unidades centrais de processamento do núcleo 2, por intervalos de tempo.



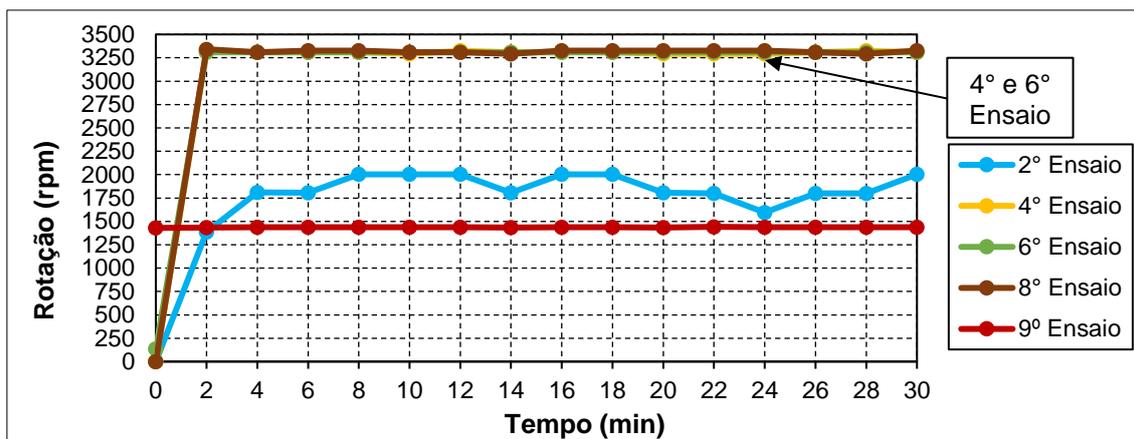
Fonte: Dos Autores.

Gráfico 3: distribuição de registros de rotação em cooler do CPU, por intervalo de tempo.



Fonte: Dos Autores.

Gráfico 4: distribuição de registros de rotação em *cooler* do chassi, por intervalo de tempo.



Fonte: Dos Autores.

O gráfico 3 mostra a variação da rotação do *cooler* do CPU, isto é, a rotação foi ajustada de acordo com a leitura da temperatura feita pelo sistema do computador, conforme a quantidade de Graus Celsius, o sistema faz a adaptação da rotação do *cooler* para que possa refrigerar o processador adequadamente. O gráfico 4 representa as alterações de rotação sofridas no *cooler* acoplado no chassi do gabinete, sua função é realizar a exaustão do ar quente que fica localizado entorno do *cooler* e dissipador do processador, sua rotação foi gerenciada pelo sistema do computador e também realizada de acordo com a temperatura do processador.

Ao realizar-se a análise dos experimentos, pode-se notar as diferenças de temperaturas do CPU. Pode-se destacar também a eficiência do dissipador em refrigerar o processador, contudo se apresentou ineficiente e inadequado para refrigerar a placa Peltier, devido ao núcleo do dissipador ser de alumínio e a sua área de contato ser pequena.

Ao fazer a análise dos experimentos que tiveram a adaptação com Peltier, deve ser destacada o experimento que adotou a Peltier em contato direto com o processador, apresentando ser mais eficiente na refrigeração da CPU, porém em comparação aos componentes forma padrão (Cooler, Dissipador de calor e CPU) ainda é inferior. O fato de o dissipador ser inadequado e o sistema adaptado não estar fixado adequadamente fixado, podendo gerar pequenas bolhas de ar na pasta térmica, causando interferência no experimento. Portanto deve-se fazer alterações necessária no projeto para alcançar resultados melhores na refrigeração do processador.

## 5. Conclusão

Através dos ensaios práticos, foi analisado que é possível a aplicação do dispositivo com placa Peltier no sistema de arrefecimento do processador. Porém, foram identificadas as variáveis que podem interferir no valor da resistência térmica dos componentes que compõem o sistema de refrigeração do processador. Como a espessura da chapa de cobre, a altura e material do dissipador aletado, a rotação dos *coolers*, a área de contato entre os componentes, a qualidade da pasta térmica utilizada e a temperatura externa do gabinete.

Por esses motivos, deve-se analisar os melhores componentes para adequar o sistema de arrefecimento sem danificar ou reduzir a vida útil do computador, tendo como propósito 'implementar placa Peltier, utilizando *air cooler* ou *water cooler*.

O segundo e o nono ensaio foram os que obtiveram os melhores resultados, nos requisitos de menor temperatura no processador e ter exigido baixa rotação do cooler. Em comparação do nono ensaio com o segundo ensaio, foi possível obter 58,83 % na melhora de refrigeração. Com os resultados deste trabalho, ficou convicto o potencial da aplicação do efeito Peltier no processador. O esforço futuro é desenvolver uma caixa térmica que envolva o processador e a parte fria da placa Peltier, com o intuito de isolar o sistema de possíveis influências do ambiente externo, acrescentando também um dispositivo eletrônico Arduino para controlar a potência da placa Peltier.

## 6. Referências

- [1] AZEVEDO, Ricardo L.; HENRÍQUEZ, Jorge R. **Transferência De Calor E Distribuição De Temperatura Em Um Dissipador Aletado Acoplado A Um Microprocessador**: um estudo numérico. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2004.
- [2] BOHN, Mark S.; KREITH, Frank. **Princípios de transferência de calor**. Tradução: All Tasks. São Paulo: Cengage Learning, 2003.
- [3] CAPRON, H.L.; JOHNSON, J.A.. **Introdução à Informática**. Tradução: José Carlos Barbosa dos Santos. 8. Ed., 11 impressão. São Paulo: Pearson, 2012.
- [4] COSTA, Ênio Cruz. **Refrigeração**. 3. ed., 9 impressão. São Paulo: Blucher, 1982.
- [5] JUNIOR, Jorge B.; PASQUOTTO, Lucas G.; Bürger, Vicente S.. **Análise da Eficiência da Dissipação de Calor em Aletas com Ventilação Natural e Ventilação Forçada**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2007/ANLISEDAEFICINCIADADISSIPAODECALOR.pdf>>. Acesso em: 10 Dez. 2017.
- [6] KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor**, Editora Edgard Blucher Ltda, 1973.
- [7] KAKIMOTO, Luis C.. **Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por diferença de temperatura**. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F609\\_2013\\_sem1/LuisC\\_Siervo\\_F6\\_09\\_RF3.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2013_sem1/LuisC_Siervo_F6_09_RF3.pdf)>. Acesso em: 21 Jun. 2018.
- [8] MOURA, Paulo Roberto de; ALMEIDA, Danilo. **Refrigerador termoelétrico de Peltier usado para estabilizar um feixe laser em experimentos didáticos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, p. 1308, 2014.
- [9] NETTO, C. **A Considerações sobre o Emprego de Sistemas de Isolação Térmica em Engenharia Naval**, dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica, 1987.
- [10] ROMANO, R.; Tannuri Eduardo A.. **Modelagem e validação experimental de um atuador baseado em liga de memória de forma**. Revista Controle & Automação, v. 19, n. 1, 2008.
- [11] SCHMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH, Carl H.. **Introdução Às Ciências Térmicas**: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor. Tradução: Arlindo Tribess, Flávio Augusto Sanzogo Fiorelli, José Roberto Simões Moreira, Júlio Romano Menegini, Jurandir Itizo Yanagihara, Miriam Rocchi Tavares, 2. Ed., 4 impressão. São Paulo: Blucher, 2013.
- [12] VASCONCELOS, L. **Hardware Total**. 1. ed. São Paulo: Makron Books, 2002.