



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS - CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS - DPI
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MARCELO IANNUZZI DA SILVEIRA

**MELHORIA DA DISSIPAÇÃO TÉRMICA EM PLACAS DE PROCESSAMENTO
GRÁFICO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA TRANSMISSÃO DE
CALOR POR CONDUÇÃO**

**MANAUS – AM
2022**

MARCELO IANNUZZI DA SILVEIRA

**MELHORIA DA DISSIPACÃO TÉRMICA EM PLACAS DE PROCESSAMENTO
GRÁFICO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA TRANSMISSÃO DE
CALOR POR CONDUÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecânica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica.**

Orientadora: Me. Camila da Costa Pinto

MANAUS – AM

2022

Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro

S587m Silveira, Marcelo Iannuzzi da.

Melhoria da dissipação térmica em placas de processamento gráfico através da aplicação dos conceitos da transmissão de calor por condução / Marcelo Iannuzzi da Silveira. – Manaus, 2022.

45 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*, 2022.

Orientadora: Profa. Ma. Camila da Costa Pinto.

1. Engenharia mecânica. 2. Resistência térmica. 3. Energia térmica. I. Pinto, Camila da Costa. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas IV. Título.

CDD 621

MARCELO IANNUZZI DA SILVEIRA

**MELHORIA DA DISSIPAÇÃO TÉRMICA EM PLACAS DE PROCESSAMENTO
GRÁFICO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA TRANSMISSÃO DE
CALOR POR CONDUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecânica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Aprovado em 15 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

(Assinado digitalmente em 01/02/2023 07:34)

CLAUDIO MARCELO DOS SANTOS FERREIRA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

1061830

(Assinado digitalmente em 31/01/2023 08:11)

CAMILA DA COSTA PINTO

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

3268641

(Assinado digitalmente em 01/02/2023 18:42)

JOSE JOSIMAR SOARES

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

1961168

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.ifam.edu.br/documentos/>
informando seu número: **363**, ano: **2022**, tipo: **ATA**, data de Assinatura: **15/12/2022** e o código de
verificação: **5ba4656302**

*Ao meu saudoso amigo Wagner, por me
mostrar que a vida deve ser vivida.
Ao meu amigo Paulo Sérgio por ser um
exemplo de que o limite está dentro de nós.
A todos os meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me mostrar ser capaz de atingir meus objetivos.

Aos meus pais por todo o apoio que me foi dado e por sempre incentivarem a busca pelo conhecimento.

Aos professores do IFAM que me deram a oportunidade de chegar até aqui, por todos os ensinamentos e dedicação à profissão.

À minha Orientadora Profa. Me. Camila da Costa Pinto, por mostrar o real sentido de “subir no ombro de gigantes”.

Sem essas pessoas este trabalho não teria sido possível. Dedico-lhes meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo verificar os efeitos da aplicação de conceitos da transmissão de calor por condução no projeto de dissipação térmica de chips de memória de placas de processamento gráfico como contribuição para sua estabilidade de operação. Serão apresentados conceitos de transmissão de calor por condução, descrevendo a importância dos materiais de interface térmica, destacando o impacto do regime de trabalho no dimensionamento dos projetos, apontando os efeitos da temperatura de trabalho em equipamentos eletrônicos avaliado como aprimorar sua dissipação de calor e testando uma forma de aumentar sua estabilidade de trabalho. Foram utilizadas pesquisas bibliográficas, além do estudo de caso desenvolvido a partir de um experimento com placas de um complexo de processamento. Foram realizadas medições através do próprio software de processamento obtendo-se a média simples e apresentando os ganhos percentuais. A mudança permitiu uma redução média de 10% da temperatura de trabalho, 19% na utilização dos ventiladores e discreta redução de 1% no consumo de energia dos equipamentos em operação. Por fim, o trabalho demonstrou resultados promissores na solução observada, trazendo à luz conhecimento relevante para tomada de decisão da população em questão acerca da decisão de aplicar a melhoria em seus equipamentos.

Palavras-chave: transmissão de calor, hardware, dissipação térmica, condução

ABSTRACT

The present work aimed to verify the effects of conduction heat transfer concepts in thermal dissipation projects of GPU memory chips operation stability. Conduction heat transfer concepts will be presented, describing the importance of thermal interface materials, highlighting the impact of duty cycle in the design, pointing out the effects of working temperature in electronic equipment evaluating how to improve its heat dissipation and testing a way to increase its work stability. Bibliographic research was used, in addition to the case study developed from an experiment with boards from a processing complex. Measurements were performed through the processing software itself, obtaining the simple average and presenting the percentage gains. The change allowed for an average reduction of 10% in the working temperature, 19% in the use of fans and a slight reduction of 1% in the energy consumption of the equipment in operation. Finally, the work demonstrated the efficiency of the observed solution, bringing to light relevant knowledge for the decision-making of the population in question about the decision to apply the improvement in their equipment.

Keywords: heat transfer, hardware, thermal dissipation, conduction

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rede de resistências térmicas.....	29
Figura 2 – Resistência Térmica de contato.....	30
Figura 3 - Comparação de eficiência energética de memórias 2017.....	33
Figura 4 – Comparação de eficiência energética de memórias 2020.....	33
Figura 5 – Disposição: placa, <i>thermal pad</i> , dissipador e ventiladores	37
Figura 6 – Parâmetros de <i>overclock</i> das placas	39
Figura 7 – Placa de cobre utilizada no estudo de caso.	43
Quadro 1 – Procedimento de substituição dos <i>thermal pads</i>	44
Figura 8 – Exemplo de medição através do <i>software HiveOS</i>	49
Tabela 1 – Leituras obtidas e percentual comparativo	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.2 OBJETIVO GERAL	23
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
 2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA ENGENHARIA.....	24
2.1.1 CONDUÇÃO UNIDIMENSIONAL EM PAREDE PLANA	26
2.1.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO.....	26
2.1.3 RESISTÊNCIA TÉRMICA.....	28
2.2 DISSIPACÃO DE CALOR EM EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	32
2.2.1 O IMPACTO DO REGIME DE TRABALHO	34
2.2.2 A IMPORTÂNCIA DOS MATERIAIS DE INTERFACE TÉRMICA	36
2.2.3 OS EFEITOS DA TEMPERATURA DE TRABALHO.....	37
 3 METODOLOGIA	39
 4 RESULTADOS	41
4.1 PREPARO DA AMOSTRA.....	43
4.2 TESTES	48
 7 CONCLUSÃO	53
 REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A demanda por tecnologia é crescente em todas as áreas do desenvolvimento humano, seja em instituições financeiras, na ciência e pesquisa ou na gestão e tratamento de dados, todos são beneficiados com o aumento da capacidade computacional. Associado a isso está o crescimento do consumo de energia, e por consequência, o aumento da carga térmica gerada por esses equipamentos (Shuaib, Badotra, *et al.*, 2022).

Da mesma forma, soluções de dissipação de energia térmica evoluem paralelamente, sempre buscando manter a estabilidade e o equilíbrio na temperatura de funcionamento de componentes eletrônicos. Este é o ponto central de estudo dessa pesquisa, que buscou uma alternativa eficiente de melhoria em projetos de dissipação térmica de placas de processamento gráfico.

Em função da crescente demanda de processamento, equipamentos são configurados para trabalhar acima de sua capacidade usual, tornando a demanda por resfriamento uma limitação para suas operações (Zuberi e Wool, 2021). Assim, buscou-se reunir informações e apresentar uma proposta que pudesse responder ao seguinte problema de pesquisa: De que forma os conceitos de transmissão de calor por condução podem ser aplicados na melhoria da dissipação térmica de componentes eletrônicos?

Essa pesquisa visou verificar os efeitos da aplicação de conceitos da transmissão de calor por condução no projeto de dissipação térmica de chips de memória de placas de processamento gráfico como contribuição para a confiabilidade de sua operação. Para isso, foram apresentados os conceitos da transmissão de calor por condução, descrevendo a importância dos materiais de interface térmica para o tema. Em seguida, foram destacados os impactos do regime de trabalho no dimensionamento dos projetos de dissipação térmica e por fim, apontados os efeitos da redução da temperatura de trabalho através do aprimoramento da dissipação de calor dos chips de memória de placas de processamento gráfico.

Com o avanço do poder computacional da microinformática, fabricantes e usuários buscam incessantemente a redução da temperatura de operação de microprocessadores e artigos eletrônicos com o intuito de otimizar o funcionamento

em suas operações. Aprimorar essa estabilidade térmica é uma forma de evitar falhas de operação e, por consequência, tornar seu processamento mais eficiente.

O que impulsionou a realização deste projeto foi a necessidade de reduzir a temperatura de trabalho em placas de processamento gráfico, apresentando uma proposta de aumento da taxa de transmissão de calor entre os chips e o dissipador térmico (aletas) para equipamentos utilizados de forma contínua com base nos fundamentos de transmissão de calor por condução.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas, além de estudo de caso. A pesquisa bibliográfica baseou-se em publicações da área de engenharia mecânica, mais especificamente transferência de calor e sistemas térmicos, além de artigos científicos da área de equipamentos eletrônicos. O estudo de caso foi desenvolvido a partir de um experimento com placas de um complexo de processamento, utilizando-se dois exemplares. Foram realizadas medições de 3 variáveis, antes e depois da mudança, através do próprio software de processamento. Utilizando um cálculo de média simples, foram calculados os resultados percentuais de ganho.

O trabalho se apresentou em etapas, inicialmente realizando uma introdução teórica dividida em 2 subcapítulos, o primeiro tratando dos conceitos da transferência de calor na engenharia, especificando a condução de calor unidimensional em parede plana, a transferência de calor por condução e resistência térmica. Em seguida, foi contextualizada a dissipação de calor em equipamentos eletrônicos, apresentando o impacto do regime de trabalho, a importância dos materiais de interface térmica e os efeitos da temperatura de trabalho. Por fim, apresentou-se a metodologia utilizada, e logo após, os resultados da pesquisa.

1.2 OBJETIVO GERAL

Verificar os efeitos da aplicação de conceitos da transmissão de calor por condução no projeto de dissipação térmica de chips de memória de placas de processamento gráfico como contribuição para sua estabilidade de operação.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentar os conceitos da transmissão de calor por condução.

Destacar o impacto do regime de trabalho no dimensionamento dos projetos de dissipação térmica.

Descrever a importância dos materiais de interface térmica para a transmissão de calor.

Apontar os efeitos da redução da temperatura de trabalho através do aprimoramento da dissipação de calor dos chips de memória de placas de processamento gráfico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA ENGENHARIA

Ao deixar uma xícara de café quente sobre a mesa, sabe-se que naturalmente ela resfriará até que fique à temperatura ambiente, fenômeno que ocorre devido à transferência de energia do meio quente para o frio, buscando o estado de equilíbrio. A termodinâmica é o ramo da ciência que estuda esse evento (Cengel, 2012).

A termodinâmica visa de maneira simples, medir a quantidade de calor transferido em um sistema que muda em direção ao estado de equilíbrio, no entanto, outra informação pode ser observada a partir desse evento, o tempo. É a partir daí que se chega a taxa de transferência de calor (Cengel, 2012).

A quantidade de calor transferida ao longo do tempo determina a taxa de transmissão de calor de um sistema conforme explicado acima, no entanto, não se limita a estes parâmetros. Outras condições devem ser observadas.

Moran *et al* (2005) expõe uma definição mais ampla do conceito, onde são considerados os estados inicial e final limitantes das interações bem como as quantidades de energia transferidas para os processos. O autor deixa claro o fluxo de energia através da interação entre o sistema e a vizinhança, incluindo a transferência de energia por calor e trabalho, tornando possível estender as análises termodinâmicas ao estudo da transferência de calor correlacionado à taxa de transferência.

Conforme mencionado pelo autor, existe um tipo de interação entre sistemas fechados e sua vizinhança de forma alternativa ao trabalho, a transferência de energia através de calor. Essa quantidade de energia transferida durante um período de tempo pode ser calculada da seguinte forma:

$$Q = \int \dot{Q} dt \quad (01)$$

Já Cengel (2012) acrescenta que, caso $\dot{Q}$ seja constante, a equação se reduz a:

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (02)$$

Os autores apresentam ainda o conceito de fluxo de calor como "a taxa de transferência de calor por unidade de área normal à direção da transferência" que pode ser calculado através da equação

$$\dot{Q} = \int \dot{q} dA \quad (03)$$

ou simplificando:

$$\dot{q} = \dot{Q} / A \quad (04)$$

Onde "A" denomina a área de transferência de calor.

A engenharia utiliza os conceitos de termodinâmica para estudar e criar projetos dos mais diversos aspectos para atender as necessidades da humanidade (Moran *et al.*, 2005). Suas aplicações estão presentes nas mais diversas áreas como, por exemplo, a propulsão de foguetes passando por sistemas alternativos de energia e sistemas de criogenia até resfriamento de equipamentos eletrônicos. Estes aspectos permitem cada vez mais a evolução tecnológica e melhor aproveitamento dos recursos naturais.

A termodinâmica trabalha com estados termodinâmicos em equilíbrio e transformações de um estado de equilíbrio para outro. A transferência de calor, por sua vez, trabalha com sistemas que não estão em equilíbrio térmico, pois são fenômenos de não equilíbrio termodinâmico. Dessa forma, o estudo da transferência de calor não pode ser baseado apenas nos princípios da termodinâmica. As leis da termodinâmica estabelecem o ambiente de trabalho na ciência da transferência de calor (Cengel, 2012, p. 2).

O autor deixa claro que a termodinâmica por si só não determina na sua totalidade os conceitos da transferência de calor, no entanto, estabelecem o alicerce de trabalho de conceitos necessários para seu estudo e desenvolvimento. A termodinâmica trata dos estados de equilíbrio, já a transferência de calor atua nos estados de desequilíbrio.

Fica evidente que transferência de calor e termodinâmica têm aplicações da ciência que estudam a variação de energia em forma de calor, cada uma a sua maneira. Na engenharia, a transferência de calor encontra na prática dois tipos de problemas a serem solucionados, de avaliação e de dimensionamento. O primeiro busca determinar a taxa de transferência de um sistema com temperatura específica. Já o segundo tem o objetivo de dimensionar o sistema de forma a transferir calor a

uma dada taxa para uma temperatura específica (Cengel, 2012) ambos sendo aplicados de forma experimental ou analítica.

2.1.1 Condução unidimensional em parede plana

Como explicado pela Lei de Fourier a transferência de calor é uma grandeza que possui direção e intensidade e sentido, sendo, portanto, uma grandeza vetorial. A condução de calor através de um meio depende da intensidade da temperatura a qual pode variar com a posição e o tempo mensurado (Cengel, 2012).

De acordo com Moran *et al* (2005), quando a temperatura varia apenas na direção x , tem-se a condição para condução unidimensional. O autor classifica ainda as condições de regime permanente, em que a temperatura não varia com o tempo, e regime transiente, onde há a variação temporal da temperatura.

O autor pontua que pelo menos uma condição de contorno inicial deve ser observada - uma vez que a equação de calor é de primeira ordem em relação ao tempo - como a temperatura constante na superfície. Quando se avalia a condução de calor unidimensional em parede plana sob regime permanente, o fluxo térmico observado é constante independentemente da posição.

2.1.2 Transferência de calor por condução

Como observado no capítulo anterior, o calor pode ser definido como uma forma de energia que pode ser transferida pelo resultado de uma diferença de temperatura. A condução é a transferência dessa energia nas partículas de uma substância mais energética, seja ela sólida, líquida ou gasosa, para as partículas adjacentes menos energéticas através de suas interações (Cengel, 2012; Moran *et al.*, 2018).

Moran *et al* (2018) explica que nos líquidos e gases, a condução se dá pela colisão das moléculas em seus movimentos. Já nos sólidos, o fenômeno se explica pela combinação das vibrações das moléculas em rede em adição da energia que é transportada pelos elétrons livres em seu conteúdo.

No exemplo da xícara de café, a bebida se resfria como resultado da transferência de calor do café para o ambiente por meio da condução térmica pelo

material recipiente. Este, que normalmente é um material cerâmico, tem entre suas características a baixa condutividade térmica (material isolante), buscando reduzir a perda de calor do líquido para o ambiente.

Na natureza, podemos perceber que os animais com a pelagem mais grossa estão mais protegidos do inverno rigoroso, por isso estão adaptados a viver em áreas onde um outro animal de pelagem curta não sobreviveria. Isso acontece porque a taxa de condução de calor de um meio depende da sua geometria, espessura, tipo de material e não menos importante, da diferença de temperatura ao qual é submetido (Cengel, 2012).

Conforme explicado acima, podemos entender que quanto maior o isolamento, menor a perda de calor por esse meio. Outro ponto que corrobora com a afirmação é que esses animais, em sua maioria, possuem uma espessa camada de gordura subcutânea (também um isolante) que protege seus músculos e órgãos internos do frio intenso.

Além da espessura do meio de condução, podemos relacionar a taxa de transferência de calor a outras variáveis que impactam diretamente no seu comportamento.

...a taxa de transferência de calor através da parede dobra quando a diferença de temperatura ou a área normal em direção da transferência de calor é dobrada, mas é reduzida à metade quando a espessura da parede é dobrada. (Cengel, 2012, p. 18).

Moran *et al* (2018) e Cengel (2012) relatam que a teoria da transferência de calor é explicada pela *Lei de Fourier* da condução térmica, onde "a taxa de transferência de calor através de qualquer plano normal a direção x é proporcional à área da parede e ao gradiente de temperatura na direção x ". A teoria pode ser expressa na forma da equação

$$\dot{Q} = -kA \, dT / dx \quad (05)$$

Em que a constante k é a condutividade térmica do material e o sinal negativo advém do fato de a transferência de energia se dar no sentido decrescente da temperatura. Ao se considerar o caso da variação linear da temperatura, ou seja, em uma única direção

$$dT / dx = (T_2 - T_1) / L \quad (06)$$

Assim, a taxa de transferência de calor na direção x é

$$\dot{Q}_x = -kA \Delta T / L \quad (07)$$

Como foi visto, a condução é a forma de transmissão de calor que passa de uma partícula mais agitada para uma menos agitada através de suas interações, é diretamente proporcional à diferença de temperatura, a área de contato e ao coeficiente de condutividade térmica, e inversamente proporcional à espessura do meio. A condutividade térmica está relacionada com a substância do meio, onde valores altos representam boa condutividade e valores baixos representam condutividade ruim (materiais isolantes).

2.1.3 Resistência térmica

Apresentando-se o paralelo entre circuitos elétricos e transmissão de calor, surge o conceito de resistência térmica. Quando se observa que

$$I = (v_1 - v_2) / R \quad (08)$$

por outro lado, temos que

$$\dot{Q}_x = -kA \Delta T / L \quad (07)$$

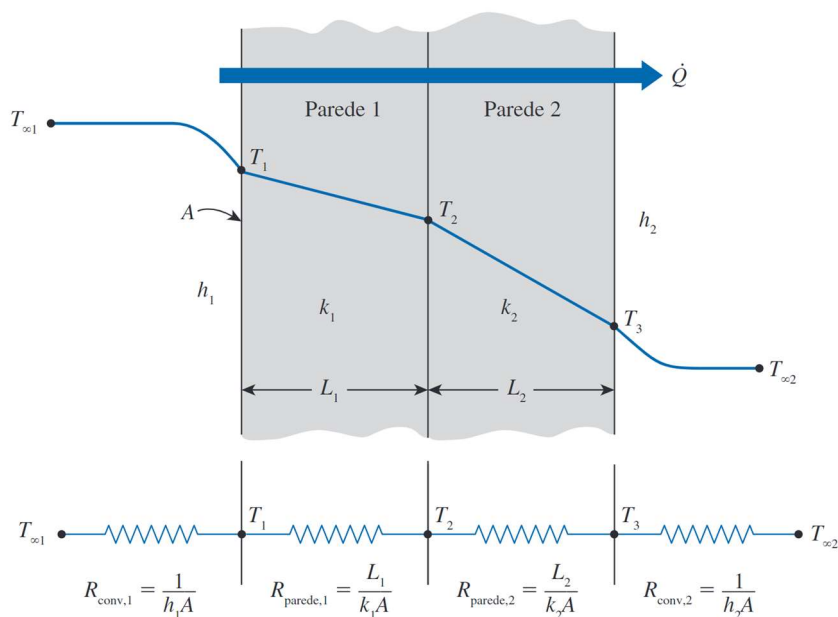
por analogia, conclui-se que a resistência térmica equivale a

$$R = L / kA \quad (09)$$

Aqui é possível identificar que a resistência térmica do meio depende de sua geometria e de suas propriedades (Cengel, 2012).

Assim como em um circuito elétrico, na transmissão de calor é possível calcular uma associação de resistências quando se tem mais de um meio. Como pode-se observar na figura 1, Cengel (2012) apresenta esse conceito como rede de resistência térmica para transferência de calor.

Figura 1 – Rede de resistências térmicas.



Fonte: Cengel, 2012

É possível observar na imagem a representação da transmissão de calor através de um fluido, passando por dois meios sólidos distintos e outro fluido na outra ponta. Logo abaixo, a representatividade da somatória das resistências de cada um dos materiais como em um circuito de resistência elétrica.

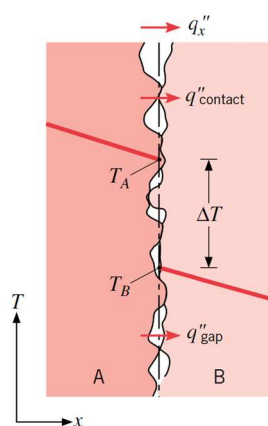
Conforme explicado acima, o conceito de resistência térmica permite resolver problemas de transferência de calor de maneira análoga aos problemas de circuito elétrico usando a resistência térmica rede. Quando a taxa de condução de calor $\dot{Q}$ é conhecida, a queda de temperatura ao longo de um meio cuja resistência térmica é R pode ser determinada por

$$\Delta T = \dot{Q}R \quad (10)$$

Assim, é possível concluir que a maior diferença de temperatura ao longo do caminho de condução de calor ocorre no seguimento com a maior resistência térmica.

Ao se verificar a condução de calor entre duas camadas sólidas, suas superfícies são irregulares (mesmo que microscopicamente) formando lacunas de ar que funcionam como uma camada de isolamento devido a sua baixa condutividade térmica como é possível observar na figura 2. Essa baixa condutividade oferece uma resistência conhecida como resistência de contato (Cengel, 2012).

Figura 2 – Resistência Térmica de contato



Fonte: Moran *et al*, 2005

A imagem apresenta representação expandida da transmissão de calor entre duas superfícies em contato, demonstrando a diferença de temperatura entre os materiais em consequência do fluxo resultante q''_x através da soma das partes em contato $q''_{contato}$ e das partes com o fluido em seu meio q''_{lacuna} .

Kraus, Bar-Cohen e Wative (2006) acrescentam que em cada superfície a aspereza presente limita o contato real a uma fração da área total aparente, onde o fluxo de calor nesse ponto é o resultado da condução sólida entre as áreas de contato e a condução de fluido através dos espaços. O calor transferido pela interface é o resultado dos efeitos da condução entre os sólidos e a condução com o fluido que preenche as lacunas.

A transferência de calor através da interface entre dois sólidos é geralmente acompanhada por uma diferença de temperatura mensurável que pode ser atribuída a um contato ou resistência térmica da interface (Kraus, Bar-Cohen e Wative, 2006). Com isso, é possível obter seu valor experimentalmente para cada situação com parâmetros distintos, limitando-se a observar valores comumente encontrados em medições anteriores na literatura (Cengel, 2012).

O valor da resistência térmica de contato depende da rugosidade superficial e das propriedades do material, bem como da temperatura, da pressão na interface e do tipo de fluido aprisionado na interface... é determinado experimentalmente e existe grande dispersão dos dados em virtude da dificuldade de caracterizar as superfícies (Cengel, 2012, p. 146–148).

O autor deixa claro a dificuldade de mensuração e classificação de valores de resistência térmica, uma vez que a sua apresentação depende de fatores não inerentes apenas ao material, mas a sua forma apresentada. Acabamentos superficiais, tratamentos, fluido do meio (oxigênio, óleo, ar, água, etc.), pressão

aplicada entre os sólidos, entre outros parâmetros que influenciam diretamente no seu resultado.

Cengel (2012) completa afirmando que a resistência térmica de contato pode ser minimizada por meio da aplicação de material termicamente condutor sobre as superfícies, antes que sejam pressionadas uma contra a outra. Essa prática é comumente adotada ao se fixar componentes eletrônicos em dissipadores térmicos. É possível encontrar grande variedade desse material no mercado.

2.2 DISSIPACÃO DE CALOR EM EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

O fluxo de calor para chips lógicos tem aumentado constantemente como resultado do aumento da densidade dos circuitos eletrônicos. O calor é gerado nos componentes assim que a corrente elétrica flui através deles. A diferença de temperatura resultante com a vizinhança afasta o calor do componente através do caminho de menor resistência térmica (Cengel, 2004).

O autor acrescenta que a temperatura do componente estabiliza quando o calor dissipado é igual ao calor gerado. Essa estabilização se dá com a criação de caminhos de transferência de calor definidos entre os componentes e o dissipador de calor final, geralmente o ar atmosférico.

Cengel (2004) exemplifica que o fluxo de pico no nível do chip aumentou de 2 W/cm² no IBM System 370 para 20 W/cm² no IBM System 3081 no início dos anos 80. A técnica convencional de resfriamento de ar forçado usada em máquinas anteriores era inadequada para remover fluxos de calor tão altos, sendo necessária a aplicação de novas técnicas de resfriamento.

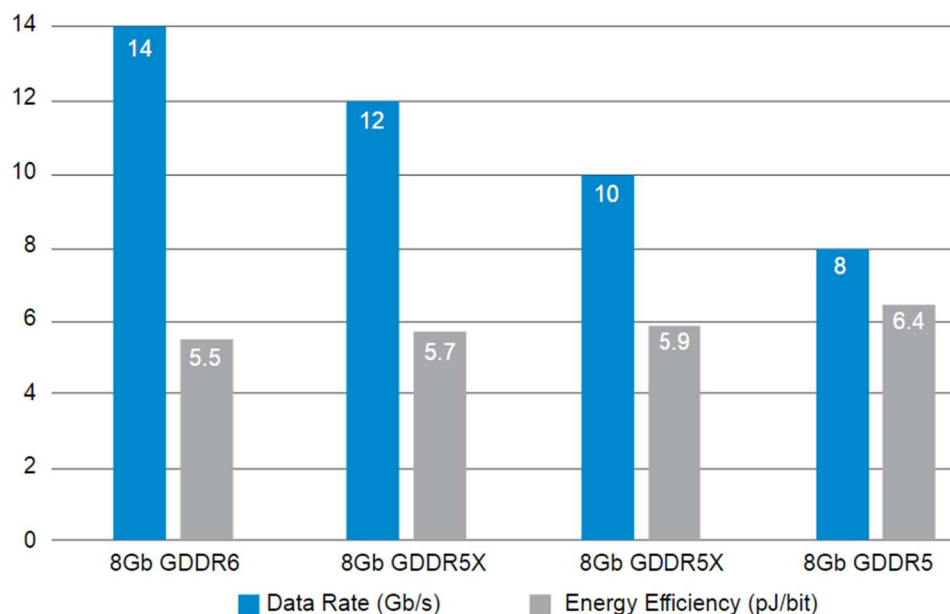
A seleção de um mecanismo de resfriamento para equipamentos eletrônicos depende a magnitude do calor gerado, requisitos de confiabilidade, condições e custos (Cengel, 2004). O autor deixa claro que estas características devem ser sempre consideradas no desenvolvimento do projeto, onde nem sempre a melhor solução deve ser empregada, visando a sustentabilidade do produto.

Conforme mencionado pelo autor, no desenvolvimento de eletrônicos de baixo custo mecanismos de refrigeração mais simples como convecção natural ou forçada com ar são comumente empregados. Quando se trata de eletrônicos de alto custo e desempenho, no entanto, muitas vezes é necessário recorrer a técnicas de refrigeração caras e complexas (Cengel, 2004).

Em um exemplo mais recente, a Micron Technology, terceiro maior fabricante de chips de memória do mundo (Kim S, 2022), divulgou os números de desempenho e consumo energético de seus chips de placas gráficas como é possível observar nas figuras 3 e 4. Os gráficos apresentados fazem referência à capacidade de transferência de dados e ao consumo por unidade de dado transferido das últimas

gerações de chips de memória de processamento gráfico (Micron Technology Inc., 2017, 2020).

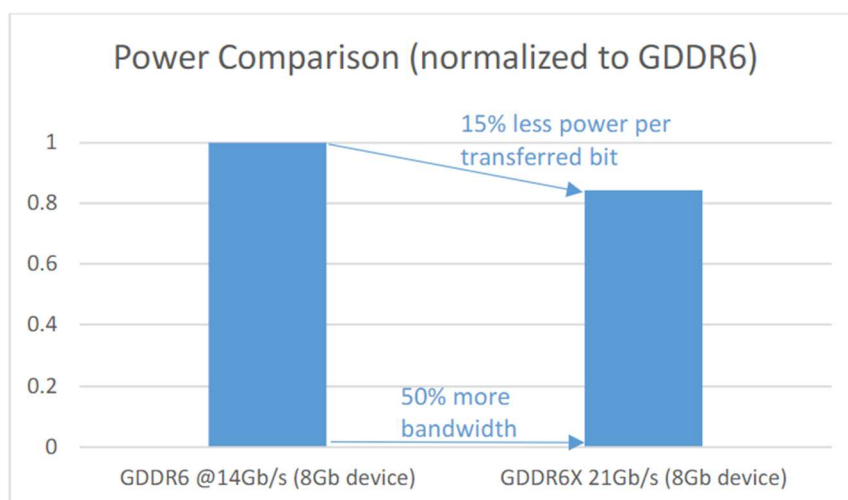
Figura 3 - Comparação de eficiência energética de memórias 2017



Fonte: Micron Technology, 2017

Na imagem acima é possível observar o gráfico comparativo relativo entre as famílias GDDR (do inglês *Graphics Double Data Rate*) de chips de memória de processamento gráfico quanto a sua capacidade de transferência de dados em Gigabits por segundo e sua eficiência energética em Pico Joules por bit transferido, demonstrando as mudanças desde a família GDDR5 até a GDDR6.

Figura 4 – Comparação de eficiência energética de memórias 2020



Fonte: Micron Technology, 2020

A imagem apresentada acima mostra o gráfico comparativo relativo entre duas famílias de chips de memória, a GDDR6, apresentada anteriormente, e a mais nova família GDDR6x, que demonstra uma redução de 15% de consumo de energia por bit transferido e um aumento de 50% na banda de transferência.

Avaliando-se os números apresentados, nota-se aparente redução de consumo de energia por bit transferido a cada geração lançada. No entanto, é possível observar que a evolução da tecnologia de transferência de dados nos chips foi muito mais significativa do que sua eficiência energética, traduzindo-se em um aumento de 48% em consumo de energia da geração GDDR5x para a geração mais atual GDDR6x.

Como é possível observar nos dois exemplos, a evolução do microprocessamento deve vir acompanhada de uma solução de resfriamento proporcional a sua demanda. Para isso, é necessário conhecer a dissipação de calor gerada para o dimensionamento de sua carga de resfriamento e outros parâmetros que influenciam nos projetos de refrigeração que serão abordados no decorrer deste capítulo.

2.2.1 O impacto do regime de trabalho

Como visto anteriormente, a primeira lei da termodinâmica exige que, em operação de regime permanente, a entrada energia seja igual à saída de energia do sistema. Considerando que a única forma de energia sair do dispositivo eletrônico seja o calor gerado, conclui-se que a dissipação de calor ou carga de resfriamento é igual ao seu consumo de energia (Cengel, 2004).

Uma vez determinada a carga de resfriamento, é comum ajustar esse número para deixar uma margem de segurança. No entanto, um sistema de refrigeração superdimensionado custará mais, ocupará mais espaço, será mais pesado, e irá consumir mais energia (Cengel, 2004).

Conforme explicado acima, o sistema de refrigeração de um dispositivo eletrônico deve ser projetado considerando as condições reais de operação, observando-se a continuidade de uso e a carga de trabalho as quais será submetido. Cengel (2004) afirma que a informação sobre o ciclo de trabalho de um equipamento é uma avaliação fundamental na definição da sua solução de resfriamento.

O autor deixa claro que "a potência real dissipada por um dispositivo pode ser muito menor do que a potência nominal, dependendo do seu ciclo de trabalho, fração de tempo em que está em operação" (Cengel, 2004). Exemplificando, ao se observar um dispositivo de 50w de potência que trabalha em média com 40% de sua carga máxima, sua dissipação média será de 20w.

Por outro lado, existem situações em que o equipamento pode trabalhar acima de suas especificações originais. A prática conhecida como *Overclock* define a reconfiguração de componentes para trabalharem com frequências acima do padrão de fábrica (Kharisma e Putro, 2019). Em uma tradução literal, *over* vem de "acima" e *clock* de "relógio", que nesse caso remete ao sentido de tempo ou mais especificamente, frequência.

Conforme explicado acima, o *overclock* aumenta a frequência de trabalho de componentes fazendo com que ele entregue mais resultado com o mesmo equipamento. Pode-se dizer que a prática seria o equivalente ao um regime de "sobretabalho", definido pela Porto Editora (2016) como carga excessiva que ultrapassa os limites de trabalho previstos.

...a energia térmica produzida pelo sistema aumenta na mesma proporção do consumo de energia para operar em uma frequência mais alta. O *overclock* pode proporcionar maior desempenho de um componente, mas isso geralmente implica em uma mudança do projeto de resfriamento para proteger os componentes do superaquecimento (Thomas e Shanmugasundaram, 2018, p. 1).

O autor deixa claro que existe um preço a se pagar pelo aumento do regime de trabalho dos equipamentos além das especificações dos fabricantes. Considerando que os projetos de resfriamento são desenhados para um determinado limite de funcionamento, ao se exceder esse limiar algo deve ser alterado para compensar a elevação da carga térmica.

Assim, pode-se dizer que o *overclock* pode trazer benefícios em desempenho na operação de equipamentos eletrônicos sem a necessidade de substituição por modelos superiores mais potentes. Sua execução deve observar requisitos que possam garantir a confiabilidade de operação com o intuito de manter o equilíbrio térmico entre a geração e a dissipação de calor, mesmo que pra isso sejam aplicadas melhorias em seu projeto de resfriamento.

2.2.2 A importância dos materiais de interface térmica

No capítulo anterior foi apresentado o conceito de interface térmica onde foi visto que existem formas de minimizar os efeitos da queda de temperatura entre dois materiais em contato. Em projetos de refrigeração, essas quedas costumam representar barreiras significativas no fluxo de calor e, portanto, tornam-se pontos importantes de observação para a aplicação de possíveis melhorias.

Diversos estudos são publicados na comunidade científica com o objetivo de testar e apresentar novas soluções de TIM (do Inglês *Thermal Interface Material*) visando a melhoria de condutibilidade térmica, viabilidade técnica, redução de custo ou facilidade de implementação. Isso demonstra a importância do tema para a ciência, acompanhando de perto a própria evolução da microeletrônica.

Em uma publicação recente, Naghibi *et al* (2020) apresentou uma proposta de TIM composta por grafeno. O material ficou conhecido por apresentar entre suas propriedades a condutividade térmica que varia entre 2000 e 5300 W/mK.

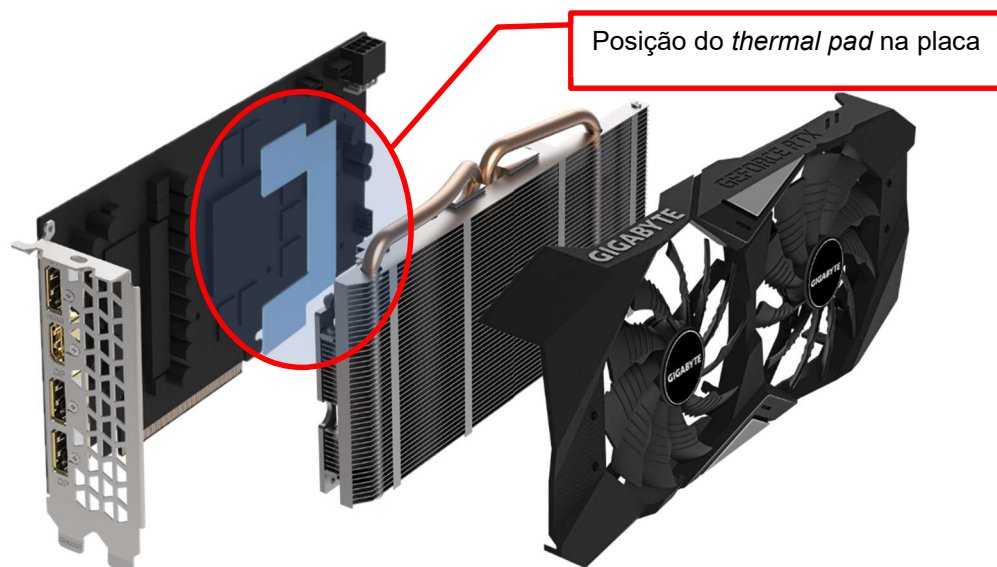
Para se ter ideia da dimensão desses números, é interessante, aliás, realizar um comparativo com materiais conhecidos. A prata pura, um dos metais puros com maior condutividade térmica conhecidos, possui a condutividade térmica de 429 W/mK (Moran *et al.*, 2005), o que representa, na melhor hipótese, aproximadamente 1/5 dos valores alcançados pelo grafeno.

Em outro estudo na mesma linha de trabalho, Deng e Jiang (2021) realizaram um experimento com uma liga metálica de Índio e Estanho para aplicação em interface térmica. Sua pesquisa buscou apresentar vantagens em relação a outras soluções como a possibilidade de reutilização, o não escoamento em temperatura de trabalho (o que é fundamental devido a sua natureza de alta condutividade elétrica que poderia levar os componentes a um curto circuito) e a condutividade térmica similar a outros produtos do mercado.

Dentre os materiais de interface térmica mais encontrados no mercado, destaca-se um tipo com espessura mais volumosa variando em sua maioria de 0,5 até 3,5mm com característica maleável conhecidos como almofadas térmicas (do inglês *Thermal pads*) comumente aplicados em equipamentos eletrônicos. Possuem diversos níveis de condutibilidade térmica, mas não são conhecidos por serem os

melhores condutores como demonstrado por Deng e Jiang (2021). Na figura 5 é possível ver um exemplo de sua aplicação.

Figura 5 – Disposição: placa, *thermal pad*, dissipador e ventiladores



Fonte: Adaptado de Gigabyte, 2020

A imagem apresenta uma perspectiva expandida do plano de montagem de uma placa de processamento gráfico ao seu conjunto de dissipação térmica, com os *thermal pads* que se posicionam sobre os chips de memória, o dissipador com as aletas e os ventiladores logo acima.

Fica evidente a importância dos estudos sobre materiais de interface térmica para a indústria da microeletrônica, pois sua evolução está diretamente relacionada com a capacidade de troca de calor dos projetos de refrigeração. Um amplo campo de estudo de materiais está em desenvolvimento a cada dia buscando soluções que possam atender as necessidades do crescente aumento da densidade térmica dos componentes eletrônicos.

2.2.3 Os efeitos da temperatura de trabalho

Em projetos eletrônicos de alto desempenho, é comum observar soluções robustas de resfriamento, seja combinando condução e convecção forçada ou através de resfriamento líquido. "Os sistemas de refrigeração ativos são trocadores de calor onde o fluxo do meio de transferência de calor (ar ou líquido) é forçado por um ventilador ou uma bomba" (Benallou, 2022, p. 11).

Em ambos os casos, existe ao menos um componente acionado por eletricidade que tem seu consumo elevado de acordo com a necessidade de resfriamento. No sistema de convecção forçada, por exemplo, os ventiladores demandam mais energia para girar mais rápido, e no caso do resfriamento líquido, tanto a bomba quanto o ventilador.

Um ponto importante a se observar em relação à temperatura de trabalho dos componentes eletrônicos é a sua tolerância a falhas. Diversos autores convergem para o fato de que o excesso de temperatura aumenta as chances de falhas em equipamentos eletrônicos (Cengel, 2004; Shuaib, Badotra, *et al.*, 2022; Zuberi e Wool, 2021), tornando o controle térmico fundamental para a confiabilidade de sua operação.

A taxa de falhas de equipamentos eletrônicos aumenta exponencialmente com a temperatura. Além disso, as altas tensões térmicas nas soldas de componentes eletrônicos montados em placas de circuito impresso resultantes de variações de temperatura são as principais causas de falhas. Portanto, o controle térmico tem se tornado cada vez mais importante no projeto e operação de equipamentos eletrônicos (Cengel, 2004, p. 785).

Conforme citado acima, é possível observar a relevância do sistema de arrefecimento na microeletrônica. Em um estudo recente, Zuberi e Wool (2021) verificou as características de falhas em placas de processamento gráfico (também conhecidas como GPU do inglês *Graphic Processing Unit*). Eles observaram que as falhas aumentam por uma combinação de fatores relacionados, dentre eles a temperatura e o *overclock* aplicado.

Em adição a isso, uma questão importante é levantada por Deng e Jiang (2021), quando se trata de excesso de temperatura de trabalho dos equipamentos. Os autores afirmam que "com base na equação de *Arrhenius*, que revela que a vida útil do material varia com a temperatura, é geralmente aceito na indústria eletrônica que um aumento de 10°C na temperatura reduz pela metade a vida útil do material".

Assim, é possível entender que um controle eficiente da temperatura é algo primordial para o bom funcionamento dos equipamentos eletrônicos. Seu controle correto tem influência direta não apenas na confiabilidade e no consumo de energia durante sua operação, mas também em sua durabilidade, o que estaria diretamente associado a um teórico retorno sobre o investimento de aquisição.

3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como característica o modelo de pesquisa aplicada, considerando-se a busca pela apresentação de soluções com fins práticos. A pesquisa pode ser classificada como exploratória, uma vez que busca apresentar conceitos da literatura necessários para seu desenvolvimento (Gil, 2002).

O autor explica que, por trabalhar com resultados numericamente definidos e medidos em escalas determinadas com a característica lógica observada através de problematização e hipótese, trata-se de uma pesquisa de natureza quantitativa.

Foi realizado levantamento bibliográfico com o objetivo de obter as definições e referências teóricas sobre os assuntos abordados. Além disso, um estudo de caso buscou responder à questão central do trabalho através da exploração do comportamento de uma amostra de acordo com as definições de Gil (2002).

A coleta de dados foi realizada através da observação direta dos objetos de pesquisa que consistiu em duas etapas, a primeira executada em um momento inicial com o objetivo de observar as condições prévias do estudo e a segunda, que buscou colher os resultados da aplicação experimental.

Os dados observados foram coletados e os testes realizados através da interface do sistema operacional *HiveOS* versão 0.6-218 com a utilização dos drivers dos dispositivos da NVIDIA versão 510.60.02 e AMD 21.40.1 (5.13.0201) durante o processo de execução de trabalho de mineração de dados com o algoritmo Ethash através do minerador *Gminer* versão 3.05. As configurações de *overclock* das placas foram aplicadas manualmente na interface do sistema *HiveOS* conforme pode ser observado na figura 6.

Figura 6 – Parâmetros de *overclock* das placas

	CORE	VDD/VDDCI/MVDD	MEM
GeForce RTX 3080 10240 MB · ASUS Micron GDDR6X · 94.02.42.40.66 · PL 100 W, 340 W, 375 W	1080		2010
Radeon RX 5700 XT 8176 MB · AMD/ATI Samsung GDDR6 · 113-D1820501-101	1275	820 / 800 / 1300	900

Fonte: Próprio autor

A imagem apresenta os parâmetros de *overclock* imputados no software para as frequências de trabalho dos processadores gráficos (CORE), as tensões de

trabalho no caso do modelo AMD e para as frequências de trabalho das memórias (MEM).

Foram selecionadas duas amostras passíveis de medições nas temperaturas de memória de forma nativa, uma vez que nem todos os modelos possuem essa funcionalidade implementada em seu *hardware* e considerando ainda a dificuldade de implementar tal solução através medição externa devido à proximidade entre a superfície da memória e os dissipadores, o que poderia refletir em uma interferência nos resultados.

As Amostras avaliadas foram observadas em 3 medições aleatórias para cada uma das duas etapas (antes e depois das alterações), obtendo-se a média simples de cada métrica observada. Em seguida, foi realizada a comparação entre médias através de sua diferença percentual.

Os materiais utilizados foram observados através de pesquisas no mercado especializado de *hardware*. O produto foi adquirido em site de *marketplace* internacional anunciado sob número de patente local 202230479742.2 com a descrição de “Dissipador de calor para memória de GPU”.

O *retrofit*, técnica que consiste no processo de modernização de um equipamento ao se implementar uma mudança na sua originalidade (Dicionário Cambridge de inglês para Negócios, 2022), foi realizado pelo próprio autor, com a utilização de ferramentas. Os produtos passaram por leves adaptações para adequação às placas da amostragem.

Com isso, esperou-se atingir o objetivo do trabalho que trata de verificar os efeitos da aplicação de conceitos da transmissão de calor e observar seus resultados na estabilidade de trabalho em equipamentos eletrônicos.

4 RESULTADOS

Este estudo se deu a partir da necessidade de melhorar o fluxo de calor entre os componentes eletrônicos da placa, mais especificamente nos chips de memória, e o conjunto de aletas e ventiladores que dissipam o calor para a atmosfera. Os equipamentos em específico, fazem parte de um complexo de mineração de criptomoedas, atividade comumente realizada por proprietários de placas de processamento gráfico como forma alternativa de se obter retorno financeiro durante o período em que os dispositivos estão fora de operação.

De forma simplificada, a mineração é uma forma de se obter retorno financeiro na forma de criptomoedas (ativos de valor intangível) através da cessão do poder do hardware para processamento de cálculos computacionais (Shuaib, Badotra, *et al.*, 2022).

A forma mais eficiente de obter esses resultados é através de *overclock* dos equipamentos. Shuaib, Badotra, *et al* (2022) explicam em seu estudo de forma detalhada que através do *overclock* pode-se maximizar os resultados, alcançando também redução do consumo de energia dos equipamentos na sua reconfiguração.

Uma vez que o projeto de dissipação é compartilhado entre o processador e as memórias, é importante ressaltar que os *overclocks* foram aplicados apenas nas memórias das placas, e os processadores, de forma contrária, foram configurados para trabalhar muito abaixo de sua capacidade total, gerando menos calor do que o usual, não havendo impacto na sua estabilidade de operação.

Como apresentado anteriormente, para se obter estabilidade nas operações, garantir a durabilidade dos equipamentos e ainda buscar a redução de custos com a aplicação de *overclock*, buscou-se trazer uma proposta de melhoria no projeto de dissipação térmica original dos equipamentos. Delimitando-se a alterações na fase de condução do conjunto, onde foi observado maior potencial de melhoria devido às resistências térmicas de interface e ao baixo custo de implementação.

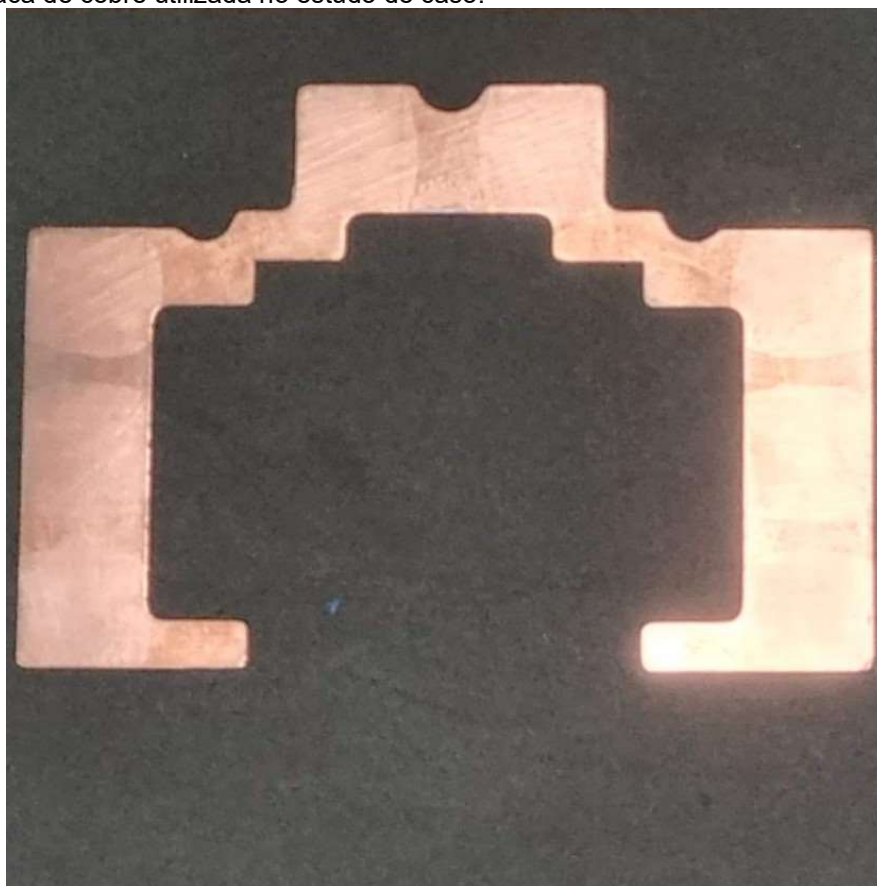
O objetivo do experimento consiste na redução da espessura do TIM ao máximo, substituindo-o por uma placa de cobre de mesma dimensão em conjunto com pasta térmica nas suas interfaces adjacentes. A partir disso, serão comparados os desempenhos de dissipação térmica do conjunto antes (em seu estado original) e

depois da implementação das mudanças. Os resultados obtidos serão apresentados juntamente com os efeitos observados no funcionamento dos equipamentos em consequência das alterações.

4.1 PREPARO DA AMOSTRA

Os materiais utilizados na substituição dos *thermal pads* são comumente encontrados no comércio especializado de hardware a um custo acessível. A placa de cobre é fabricada com as medias específicas de cada modelo de GPU, respeitando suas dimensões e disposição dos chips de memória na placa como o exemplo da figura 7 abaixo.

Figura 7 – Placa de cobre utilizada no estudo de caso.

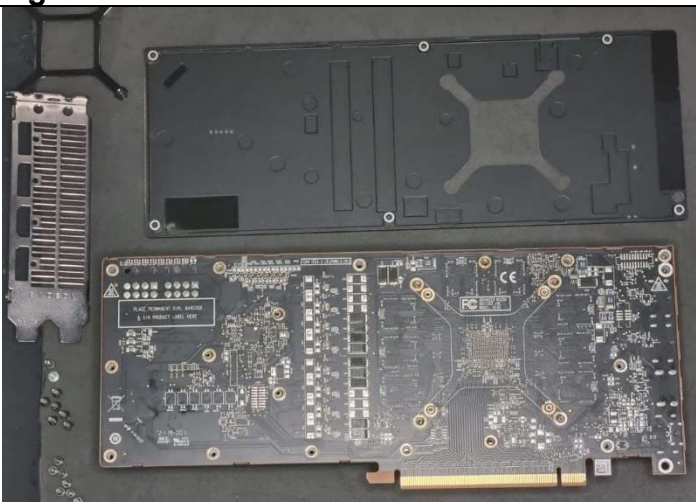
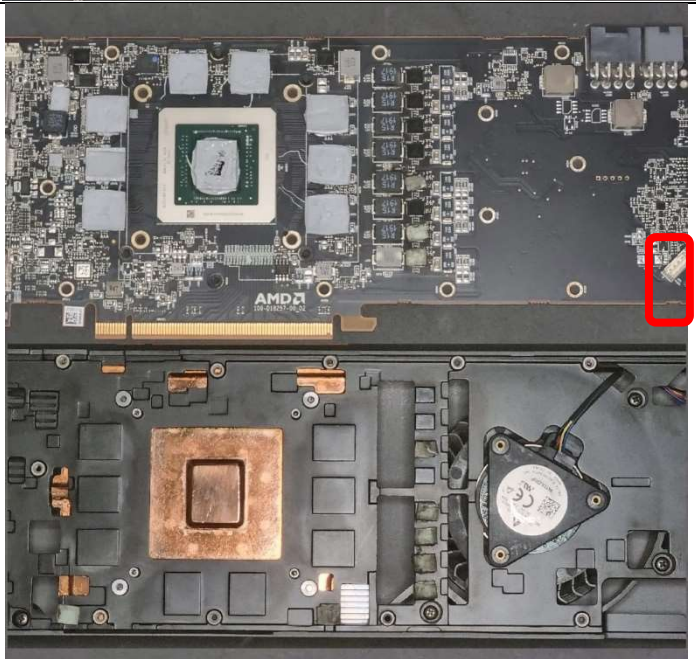


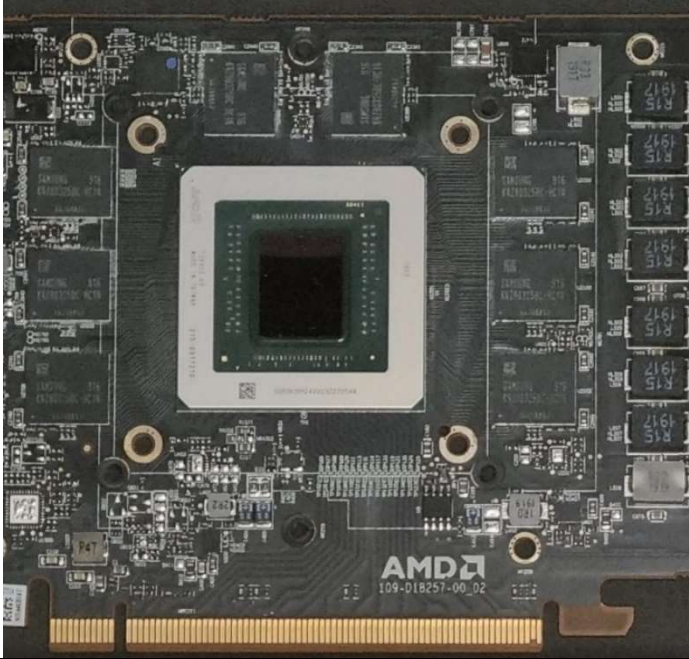
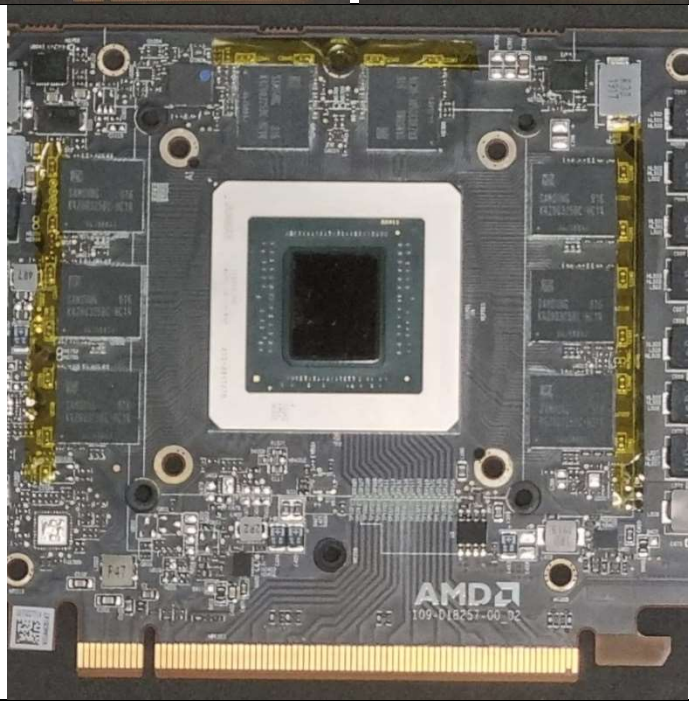
Fonte: Próprio autor

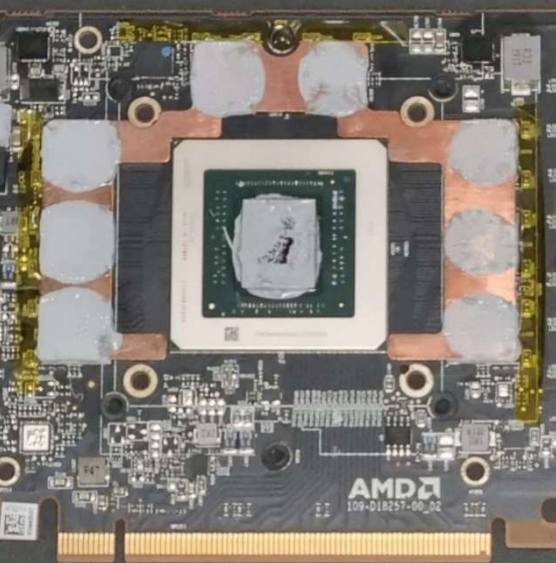
Na imagem é possível observar o aparato de cobre utilizado em uma das amostras do experimento com espessura de 1,5mm. Além disso foram utilizados como ferramentas uma chave de venda, tesoura, fita de isolamento elétrico, papel higiênico macio, hastes com algodão nas pontas e álcool isopropílico.

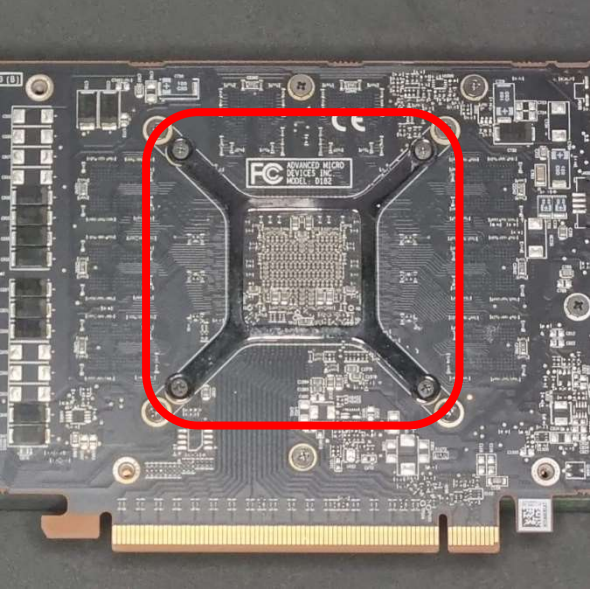
Para a aplicação da placa de cobre foi necessária a desmontagem das placas executando-se o procedimento cuidadoso descrito através do fluxo de ações apresentado no quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Procedimento de substituição dos *thermal pads*.

Passo	Descrição	Imagem
1	Remover os parafusos que prendem a estrutura da placa para a desmontagem;	
2	Cuidadosamente separar a placa do dissipador pois é possível que estejam colados e seja necessário certa pressão para separá-los. Observar a conexão dos ventiladores na placa marcados na imagem em vermelho;	
3	Limpar a pasta térmica do processador com auxílio de papel higiênico macio e bastonetes de algodão. Caso esteja ressecado, utilizar álcool isopropílico para auxiliar;	

4	Remover os <i>thermal pads</i> originais Observação: Nesta etapa é possível conferir a medida e o formato dos thermal pads adquiridos com os originais para confirmar a compatibilidade;	
5	Limpar a superfície dos chips de memória utilizando Álcool Isopropílico e papel higiênico macio e aguardar a secagem completa;	
6	Observar atentamente componentes que possam ter contato com o <i>thermal pad</i> de cobre, considerando-se o seu formato para protegê-los utilizando fita de isolamento fornecida juntamente com o produto;	

7	Passar a pasta térmica sobre os chips em uma fina camada até que cubra toda sua superfície;	
8	posicionar a placa de cobre sobre as memórias;	
9	Passar a pasta térmica sobre a placa de cobre (em alguns modelos a placa de cobre deve ser prendida primeiro ao dissipador devendo receber a pasta térmica antes desse procedimento) e no processador gráfico;	

10	Reposicionar o dissipador sobre a placa não esquecendo de conectar a ligação dos ventiladores. Em seguida, parafusar novamente o dissipador à placa aos poucos, iniciando pelos parafusos que o prendem ao chip gráfico marcados em vermelho na imagem, alternando o giro dos parafusos de forma cruzada até que estejam parafusados por completo;	
11	Prender o restante dos parafusos e concluir a montagem da placa.	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

O quadro descreve o procedimento aplicado em um dos exemplares utilizados neste experimento, detalhando o processo de desmontagem, limpeza, proteção de componentes, aplicação da placa de cobre, da pasta térmica e a remontagem do equipamento.

4.2 TESTES

A pasta térmica utilizada apresenta condutividade térmica teórica (informada pelo fabricante) de 14,3w/mk, um dos melhores valores que se apresentam disponíveis no mercado atualmente.

Como a condutividade térmica dos *thermal pads* originais não é especificada pelo fabricante, para efeito de comparação, foi adotado o valor igual ao da pasta térmica utilizada, que ainda representa um dos melhores valores teóricos encontrados em almofadas térmicas similares no mercado. Já a Condutividade térmica da placa de cobre será de 386w/mK (Cengel, 2012), valor comumente adotado para fins didáticos.

A finalidade aqui não é demonstrar os valores exatos, mas sim, estimar valores teóricos e aproximados afim de observar o comportamento da mudança na prática e comparar os resultados encontrados, correlacionando-os também com a teoria. Buscou-se manter aproximadamente os mesmos padrões de resistência de contato com a equivalência entre a condutividade térmica da pasta e das almofadas térmicas.

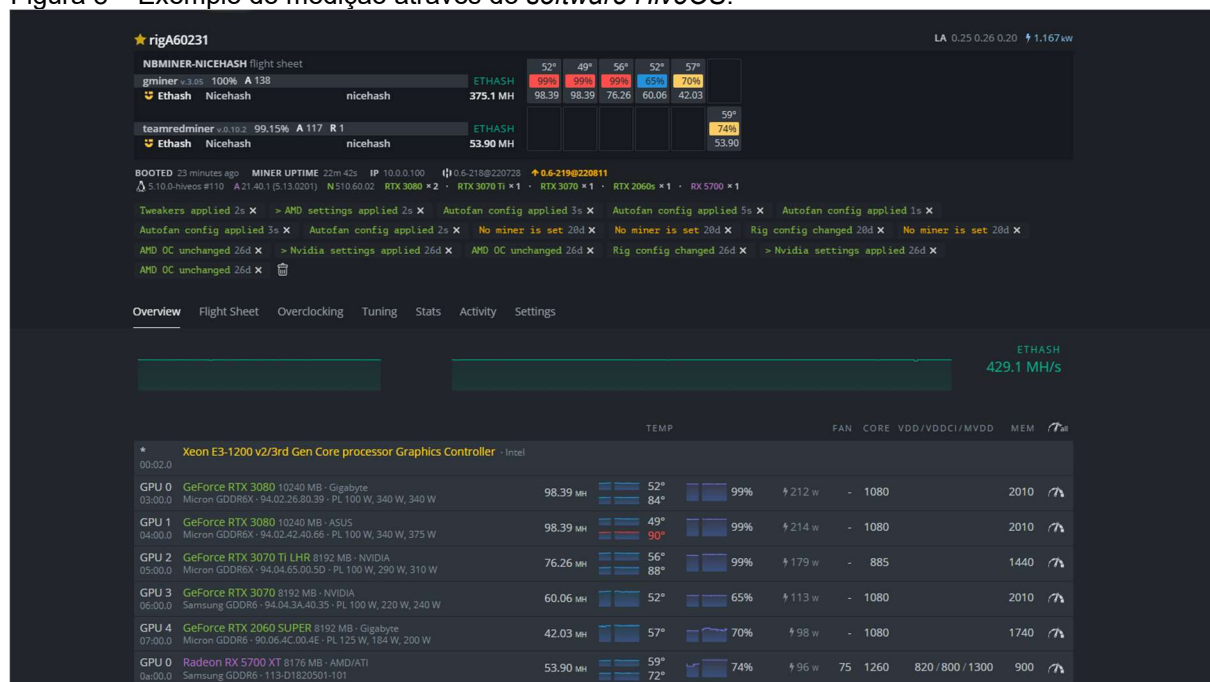
Os exemplares observados foram projetados originalmente com TIM de 1mm e 1,5mm de espessura, de acordo com a disposição observada na figura 5, onde, a partir da placa, tem-se o TIM (aqui representado por almofadas térmicas ou em inglês *thermal pads*), em seguida, a placa de dissipação com aletas e, por fim, os ventiladores.

Utilizando-se o modelo de 1,5mm, o valor teórico da resistência térmica do *thermal pad* original calculado através da equação 9 é de aproximadamente $104,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ K/W}$. O valor encontrado para a resistência térmica da placa de cobre é de $3,89 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Como é possível observar, existe uma diferença significativa entre os dois materiais quando se trata de resistividade térmica por unidade de área. A resistência da pasta térmica aplicada não pode ser estimada por se tratar de uma camada muito fina e por isso, aqui, está sendo utilizada para simular a uma resistência de contato aproximada a da almofada térmica original. Assim, é esperado que a mudança tenha impacto positivo no sentido de diminuir a diferença de temperatura, acelerando o processo de resfriamento dos chips de memória.

Foram utilizadas duas placas de vídeo, o primeiro modelo RTX 3080 e o segundo modelo RX 5700 XT, este último apresentado no procedimento do quadro 1.

Ambos os modelos produtos do fabricante ASUS, mas cada um de arquitetura diferente, a primeira com o chip gráfico do fabricante NVIDIA e o segundo com chip gráfico da AMD. Seu comportamento em operação foi observado pelo período de 19 dias, entre os dias 13/08/2022 e 01/09/2022. As observações iniciais foram realizadas antes das alterações para registro comparativo, e após as mudanças implementadas para observação dos resultados ao exemplo da figura 8.

Figura 8 – Exemplo de medição através do *software* HiveOS.



Fonte: Próprio autor

A imagem apresentada demonstra uma das leituras medidas antes do processo de mudança onde a placa RTX3080 da ASUS apresentou a leitura de 90°C de temperatura de memória com 99% de velocidade acionada dos ventiladores e um consumo de 214w. Já o modelo RX 5700 XT apresentou a leitura de 72°C na temperatura das memórias com 74% do acionamento dos ventiladores e um consumo de 96w.

Foram observados 3 parâmetros simples de medição direta, temperatura das memórias, velocidade dos ventiladores e consumo de energia de cada um dos dois modelos, antes e depois das alterações. Os dados estão registrados conforme a tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Leituras obtidas e percentual comparativo

<i>Thermal pads</i> Originais			
Placa	Temp. das memórias (°C)	Uso do ventilador	Consumo de energia (W)
RX 5700XT	72	80%	96
RTX 3080	92	99%	214
Placa de Cobre			
Placa	Temp. das memórias (°C)	Uso do ventilador	Consumo de energia (W)
RX 5700XT	64	65%	95
RTX 3080	84	80%	212
Redução percentual			
Placa	Temp. das memórias (°C)	Uso do ventilador	Consumo de energia (W)
RX 5700XT	11%	19%	1%
RTX 3080	9%	19%	1%

Fonte: Elaborado pelo Autor

A tabela 1 apresenta as médias obtidas das medições realizadas nos equipamentos com os *thermal pads* originais nos dois equipamentos, apresentando temperaturas de memória de 72°C e 92°C, os ventiladores em 80% e 99% de capacidade acionados, e um consumo de energia de 96W e 214W. Após a substituição da placa de cobre, os números registrados foram de 64°C e 84°C nas temperaturas, 65% e 80% na utilização dos ventiladores e um consumo de energia de 95W e 212W. Ao final, as diferenças percentuais nas temperaturas foram de 11% e 9%, já para a utilização dos ventiladores foi de 19% em ambos os casos, e o consumo de energia apresentou uma mudança de 1% para os dois equipamentos.

Como foi possível constatar, a mudança trouxe ganhos para os três pontos observados. Houve uma redução absoluta na temperatura das memórias de 8°C em ambas as placas, mesmo tendo se observado a redução da velocidade dos ventiladores em 19%. O que, em teoria, traria um prejuízo para a dissipação de calor, não trouxe perdas para o resfriamento com tamanho impacto na redução da resistência térmica entre as memórias e as aletas. Além disso, obteve-se ainda uma discreta redução de 1% no consumo de energia dos equipamentos, muito provavelmente em decorrência da redução das velocidades dos ventiladores que passaram a trabalhar com menor carga elétrica.

A pesquisa procurou apresentar conceitos sobre transmissão de calor que trouxessem clareza no seu desenvolvimento. De maneira breve, buscou-se relacionar pontos de interesse na literatura que estariam colaborando com o enriquecimento da teoria por trás dos resultados esperados do estudo.

Destacar o impacto do regime de trabalho no dimensionamento dos projetos. Dada aplicação e o nível de utilização de um equipamento, seu dimensionamento deve ser planejado de forma que possa operar mantendo um equilíbrio entre a potência térmica produzida e a sua capacidade de dissipação de calor para o ambiente.

Descrever a importância dos materiais de interface térmica para a transmissão de calor. A escolha do TIM determina o tamanho das barreiras de transmissão de calor entre os equipamentos e seu conjunto de dissipação definido. Foi possível entender que mesmo em projetos de dissipação robustos, a troca de calor pode ser limitada por uma interface térmica resistente.

Apontar os efeitos da temperatura de trabalho em equipamentos eletrônicos. Como resultado da passagem de corrente elétrica pelos componentes e em consequência do efeito *Joule*, o excesso de temperatura dos equipamentos eletrônicos pode resultar em falhas de operação, aumento do consumo de energia elétrica e redução da durabilidade dos componentes.

Avaliar de que forma é possível aprimorar a dissipação de calor de chips de memória de placas de processamento gráfico. Ao se apresentar uma alternativa para redução do material de interface térmico entre os chips e o conjunto de resfriamento, observou-se uma promissora alternativa que, numericamente, traria bons resultados, e, por estar comercialmente disponível, seria então uma alternativa viável para a proposta. Com a aplicação da solução e a realização dos testes comparativos, foi possível observar resultados significativos de redução de temperatura de trabalho dos chips de memória das placas. Por consequência, houve redução expressiva da velocidade dos ventiladores e discreta redução do consumo de energia de operação.

Vale destacar que a redução de temperatura por si só traz o benefício da manutenção da durabilidade dos equipamentos, evitando prejuízos prematuros de danos por redução de sua vida útil. Este fator é primordial para o cálculo da previsão do retorno sobre o investimento realizado na aquisição do equipamento.

Por fim, foi possível demonstrar que a aplicação dos conceitos da transmissão de calor por condução em projetos de dissipação térmica de placas de processamento gráfico foi efetivamente positiva, através da redução do material de interface térmica entre os chips de memória das placas e o seu conjunto de dissipação térmica combinado de condução e convecção. Apresentando redução média de 10% na temperatura final dos chips e a redução de 19% da velocidade dos ventiladores, e por consequência, discreta redução de 1% no consumo de energia.

7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou observar resultados da implementação de *retrofit* com solução comercial de melhoria como alternativa aos *thermal pads* originais dos chips de memória de placas de vídeo de alto desempenho. A substituição das almofadas térmicas originais é um procedimento comum após determinado período de utilização devido ao seu ressecamento natural ao longo do tempo. Na possibilidade de se acrescentar uma melhoria à ocasião, buscou-se avaliar os resultados do produto aqui exposto através do método científico.

Considera-se que houve êxito na aplicação da solução ao se observar os resultados aqui expostos. A substituição permitiu uma redução média de 10% da temperatura das memórias ainda que houvesse uma redução de 19% na utilização dos ventiladores e, por consequência, uma discreta redução de 1% no consumo de energia dos equipamentos em operação.

Considera-se que os objetivos foram alcançados ao se apresentar as teorias acerca da transmissão de calor por condução, sua importância para a microeletrônica, as particularidades da resistência térmica de contato, os impactos do regime de trabalho no dimensionamento dos projetos de resfriamento, os efeitos da temperatura de trabalho dos equipamentos eletrônicos, bem como na avaliação da proposição demonstrando os resultados apresentados.

Além disso, como sugestão para trabalhos futuros, é possível vislumbrar o desenvolvimento de um projeto de câmara de exaustão para acomodação destes equipamentos, uma vez que o destino final do calor gerado é o ambiente em que se encontra. Quando mantidos em ambientes fechados, o calor trocado com o ar se acumula, chegando ao ponto de prejudicar as trocas devido a diminuição da diferença de temperatura, tornando primordial a troca eficiente do ar quente com uma fonte de menor calor.

Por fim, o trabalho demonstrou resultados promissores com a solução observada, trazendo à luz conhecimento relevante para tomada de decisão da população em questão acerca da decisão de aplicar tal melhoria em seus equipamentos.

REFERÊNCIAS

BENALLOU, A. Heat Exchangers for Electronic Equipment Cooling. *Em: Heat Exchangers*. Rabate, Marrocos: IntechOpen, 2022. p. 1–30.

CENGEL, Y. A. Heat Transfer: A Practical Approach 2nd Edition. **MacGraw-Hill**, v. 4, n. 9, 2004.

CENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: Grupo A - AMGH, 2012.

DENG, Y.; JIANG, Y. High-performance, safe, and reliable soft-metal thermal pad for thermal management of electronics. **Applied Thermal Engineering**, v. 199, 2021.

DICIONÁRIO CAMBRIDGE DE INGLÊS PARA NEGÓCIOS. **Definição de retrofit**. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/retrofit>>. Acesso em: 23 nov. 2022.

GIGABYTE. **GeForce® RTX 2060 SUPER™ WINDFORCE OC 8G**. Disponível em: <<https://www.gigabyte.com/br/Graphics-Card/GV-N206SWF2OC-8GD-rev-10-11>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

KHARISMA, R. S.; PUTRO, M. K. **Analysis of overclock ram galax hall of fame for daily needs** 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering, ICITISEE 2019. **Anais...** 2019

KIM S. Chipmakers Are Flashing More Warnings on the Global Economy. **Bloomberg**, n. Technology Economics, 16 ago. 2022.

KRAUS, A.; BAR-COHEN, A.; WATIVE, A. A. Cooling Electronic Equipment. *Em: Mechanical Engineers' Handbook: Energy and Power: Third Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2006. v. 4p. 371–420.

MICRON TECHNOLOGY INC. **TN-ED-03: GDDR6: The Next-Generation Graphics DRAM Introduction**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.micron.com/>>

/media/client/global/documents/products/technical-note/dram/tned03_gddr6.pdf>.

Acesso em: 21 set. 2022.

____. Doubling I/O Performance with PAM4 Micron® Innovates GDDR6X to Accelerate Graphics Memory. 2020.

MORAN, M. *et al.* **Introdução à engenharia de sistemas térmicos: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2005.

MORAN, M. J. *et al.* **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2018.

NAGHIBI, S. *et al.* Noncuring Graphene Thermal Interface Materials for Advanced Electronics. **Advanced Electronic Materials**, v. 6, n. 4, 2020.

PORTO EDITORA. **sobretabalho no Dicionário infopédia da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/sobretabalho>>. Acesso em: 1 out. 2022.

THOMAS, D.; SHANMUGASUNDARAM, M. **A Survey on Different Overclocking Methods** 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). **Anais...IEEE**, mar. 2018

ZUBERI, E.; WOOL, A. **Characterizing GPU Overclocking Faults** Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). **Anais...** Tel Aviv: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021

SHUAIB, M.; BADOTRA, S.; *et al.* A Novel Optimization for GPU Mining Using Overclocking and Undervolting. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 14, 1 jul. 2022.