

MÉTODOS DE RESFRIAMENTO EMPREGADOS EM SUPERCOMPUTADORES

**Aretha M^a Araújo da Silva¹, Lucas Dael Olio de Lima, Marco Aurélio Monteiro Lima¹,
Rodrigo Caetano Costa¹**

¹Instituto Federal de Minas Gerais(IFMG) - Campus Bambuí
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí Medeiros - km05. Caixa Postal 05 - MG - Brasil

{arethamaraujo; lucasdol720; marco.monteirolima}@gmail.com,
rodrigo.caetano@ifmg.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Robustos, potentes e de grande capacidade de processamento, os supercomputadores têm sido objeto de desejo de desenvolvedores e pesquisadores desde épocas remotas da computação. Amplamente empregado para o desenvolvimento de pesquisas e manipulação de um grande número de entradas, o equipamento visa suprir aplicações que necessitam de alta capacidade de processamento e possuem uma finalidade específica.

Máquinas extremamente eficientes e extremamente aquecidas. O grande número de processos realizados entre os processadores de um supercomputador influencia diretamente no calor gerado por este. O escopo deste trabalho reúne Características típicas deste superaquecimento e soluções adotadas até então para implantação do equipamento. Sua validade é dada pela abrangência de soluções adotadas e pela discussão a respeito de equipamentos de pesquisa.

2. PROBLEMÁTICA E ABORDAGENS ADOTADAS

O termo supercomputador surgiu na década de 60 para caracterização de máquinas superpotentes, constituídas por sistemas de alto desempenho, rápido processamento e alta capacidade de armazenamento.

Esse equipamento foi desenvolvido por Seymour Cray e foi nomeado de CDC 6600, devido a máquina ser estabelecida na CDC (*Control Data Corp.*). Este engenho conseguia chegar a uma velocidade máxima de 40 Mhz ou 3 megaFlop (3 milhões de operações de pontos flutuantes por segundo). Essa medição é comum para calcular a velocidade de processamento de computadores.

Dada a capacidade de resolução de problemas considerados complexos, estes equipamentos possuem as mais diversas aplicações, desde desenvolvimento militar à produção acadêmica e desenvolvimento de pesquisas em áreas como Astrofísica, Meteorologia, Biomedicina e Centro de Dados (SARTURI, 2015).

O grande segredo dos supercomputadores é a força bruta. Além de muita memória, eles possuem inúmeros processadores. Para se ter noção da quantidade de processadores faz-se um comparativo com um computador pessoal, as versões disponíveis no mercado oferecem até oito núcleos de processamento, enquanto um supercomputador possui milhares (SARTURI, 2015).

Pode ser feita uma comparação entre o CDC 6600, que foi criado em 1964, e o i9 7980XE da Intel, que foi lançado no ano de 2019, esta máquina possui 1 teraFlop. Ou seja, ele possui mais de 333 mil vezes a mais de operações por segundo do que a criação de Cray.

Fazendo uma confrontação dos anteriores com o supercomputador mais rápido do mundo (em junho de 2017), o Sunway TaihuLight, possui aproximadamente 93 mil teraFlop. Além de que o engenho da Sunway possui mais de 10 milhões de núcleos e consome mais de 15 mil KW, sendo que o, previamente mencionado, i9 7980XE possui 18 *cores* (núcleos)

Dado o número de iterações realizados entre processadores estas máquinas estão constantemente suscetíveis ao superaquecimento. Visando contornar o problema supercomputadores são empregados em ambientes adaptados e fazem uso de sistemas de refrigeração especiais.

Além do controle de temperatura dos periféricos do supercomputadores, é necessário que o ambiente onde os mesmos estão localizados, não tenha variações muito bruscas de temperatura. O sistema de resfriamento do computador, deve ser responsável por manter a temperatura adequada dos componentes, entretanto o resfriamento destes, pode ser comprometida, pela temperatura do ambiente externo. Os centros de processamento normalmente utilizam, ar condicionados para tentar normalizar a temperatura do ambiente. Um dos problemas que, pode vir a ocorrer, é o excesso de umidade no ar, essa pode vir com o passar do tempo corroer os equipamentos do centro de processamento. Para Figueiredo (2017), há muitas discussões sobre a temperatura ideal do ambiente de um centro de processamento, a recomendação da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*), é que a temperatura na entrada de ar dos equipamentos críticos nesses ambientes seja entre 18° C e 27° C com uma umidade relativa no ar entre 40 e

55%. Porém deve se levar em conta, que cada centro de processamento é diferente, o que necessita de uma adaptação neste controle de temperatura e umidade.

Para tentar otimizar a temperatura do ambiente, é muito usado os corredores de ar quente e ar frio. Os hackers dos servidores são posicionados de frente um para os outros, o ar frio será fornecido pela parte da frente dos servidores, através de brechas advinda do piso elevado, formando-se então “O corredor frio”. O ar frio presente na parte da frente dos hackers, é atraído para dentro dos hackers, através de ventoinhas, esfriando o equipamento, em seguida expulsa o ar quente, para a parte de trás do hacker, “O corredor quente”, o ar do corredor quente encontra a unidade de ar condicionado de resfriamento, em seguida repete o ciclo. A técnica dos corredores de ar quente e frio, proporcionam insuflamento do piso elevado, e, é possível se ter um maior controle do fluxo de ar do ambiente, eliminando os pontos quentes.

Quanto às modificações realizadas no ambiente, são definidos parâmetros de climatização, ventilação e iluminação empregados de acordo com as necessidades ao funcionamento do equipamento. Responsáveis pela IT4Innovations em Ostrava, empresa detentora de um supercomputador com sede na República Checa, disserta em entrevista à Euronews (2019):

“Os supercomputadores encontram-se normalmente em salas de dados e é importante manter um ambiente apropriado, ou seja, manter o ar frio. Outro dos pontos importantes é o sistema de prevenção de incêndios. O nosso centro é bastante único porque usamos um sistema de prevenção de fogos baseado na redução do oxigénio. Há uma troca do oxigénio por nitrogénio. Em vez dos habituais 21% de oxigénio no ar que respiramos, usamos 15%. É suficiente para impedir um fogo.”

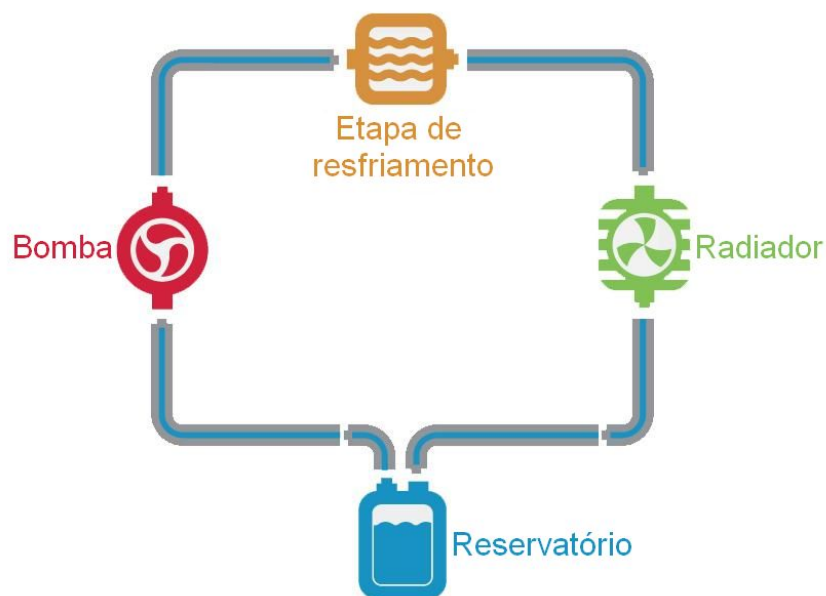
Porém, toda a transformação do ambiente requer um alto investimento monetário. A área ocupada por estes equipamentos é considerável, o custo de equipamento para refrigeração é alto, bem como a energia consumida para mantê-lo.

Um exemplo real que enfatiza a necessidade de investimento financeiro para a aplicação é o desligamento do Santos Dumont em menos de seis meses de atividade. Fábio (2016) disserta sobre a capacidade deste supercomputador colocado em funcionamento em janeiro de 2016 no Laboratório Nacional de Computação Científica, em Petrópolis.

O maior supercomputador da América Latina é utilizado para fazer cálculos e simulações em pesquisas tecnológicas. Ocupa uma área de 380 metros quadrados e usa sozinho, em energia elétrica, o equivalente ao consumo de 3000 famílias (FÁBIO, 2016). Custou R\$60 milhões, mas não dispôs de verba para quitar os R\$500 mil empreendidos mensalmente para o consumo de energia elétrica.

A refrigeração a água foi o primeiro produto desenvolvido voltado a este mercado. O princípio de funcionamento, representado na Figura 1, é bem simples: a água é bombeada de um reservatório e circula por canais entre os processadores do equipamento, resfriando assim o componente em questão. Em seguida a água aquecida passa por um radiador e volta refrigerada ao reservatório para iniciar o ciclo novamente (BERNARDI, 2014).

Figura 1 - Ciclo de resfriamento por Água



Fonte: Adaptado de Clube do Hardware¹

A refrigeração por meio de água fria é um dos métodos mais empregados pelos detentores de supercomputadores. Apesar do alto custo energético, ainda é a opção mais viável se comparada à refrigeração por ar, por exemplo.

Este modelo de resfriamento é um dos mais populares a nível comercial. O usuário padrão tem cada vez mais investido em computadores pessoais de alta performance e nível de

¹ Disponível em: <https://www.clubedohardware.com.br/applications/core/interface/imageproxy/imageproxy.php?img=https://www.ekwb.com/wp-content/uploads/2016/03/custom_loop_order.jpg&key=5aec3a7e6d5500777ac7c5a8b1c75e2cf6ff5bb79722dbaca08e7d4df18d437f>. Acessado em 20/06/2019.

processamento maior que a média. Estes componentes podem ser mantidos, e aumentar a capacidade ao se empregar *water coolers*, resfriamento por água.

A capacidade calorífica da água é maior que a do ar, logo o resultado obtido é superior aos coolers existentes nos computadores portáteis (ROCKETZ, 2019).

Figura 2 - Water Cooler Comercial



Fonte: TecMundo²

O Summit, supercomputador mais rápido do mundo com inteligência artificial e machine learning, para fazer o resfriamento de todos os 37 mil processadores utiliza 15 mil litros de água por minuto. O consumo do sistema permite que a máquina trabalhe com toda a capacidade sem passar por desgastes.

O Aquasar, um supercomputador em atividade em Zurique, na Suíça, também utiliza de de água para seu resfriamento. Porém, diferentemente do modelo de resfriamento anteriormente citados, o sistema desenvolvimento pela International Business Machines Corporation (IBM) faz uso de água quente para que não ocorra superaquecimento (MILLER, 2010).

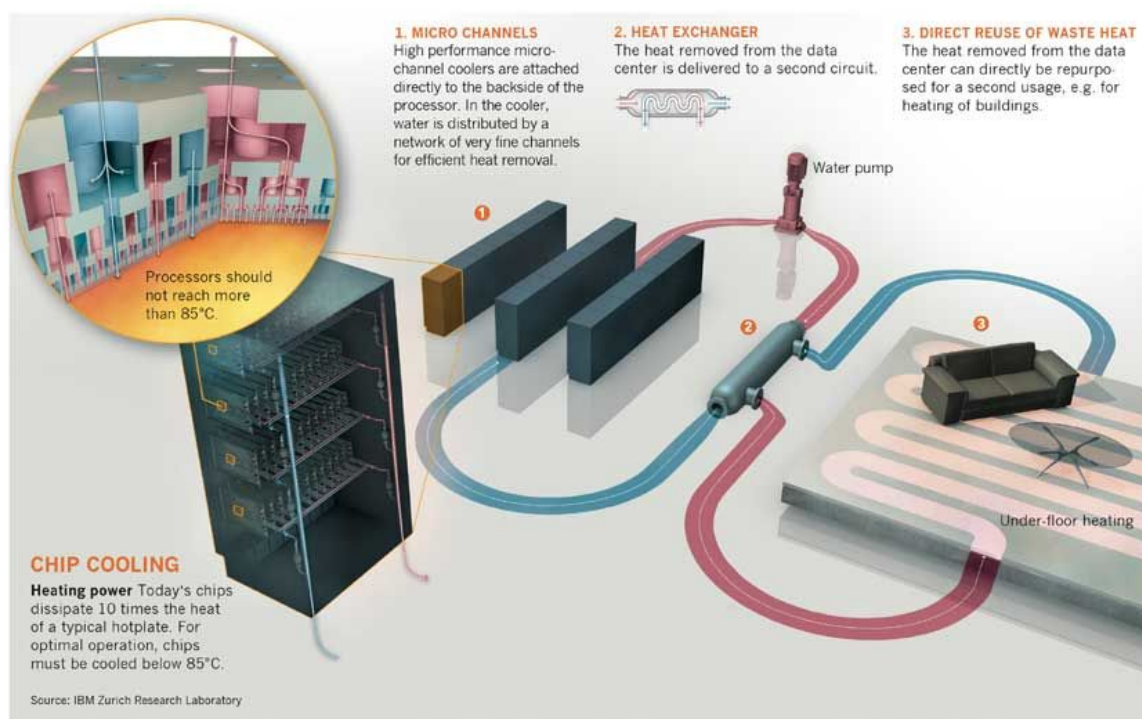
² Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/computador-desktop-/92055-destruidor-conheca-pc-r-20-mil-asus-video.htm>>. Acessado em 20/06/2019.

O sistema leva em conta o fato de que a dissipação do calor por meio da água é cerca de 4 mil vezes mais potente que a do ar e o resfriamento do líquido também é um processo caro que demanda muita energia (REDAÇÃO OLHAR DIGITAL, 2010).

Miller (2010) justifica o sistema pela energia elétrica empreendida para o resfriamento da água. Também é apontado que, nesta aplicação, a temperatura média da água ficará entre 60~70 graus Celsius, bem abaixo do nível de alerta dos chips empregados nos servidores.

O funcionamento do sistema, exposto na Figura 2, é razoavelmente simples: a água é bombeada por pequenos canais entre os processadores resfriando-o. Esta, quando aquecida, deverá ser bombeada para outras aplicações, tal que, o calor seja dissipado.

Figura 2 - Aquasar



Fonte: Data Center Knowledge³

Outra característica relevante do modelo desenvolvido pela IBM é a distribuição da água aquecida para a comunidade local, sendo uma solução ecologicamente interessante. A desenvolvedora prevê que o emprego dessa tecnologia gere uma diminuição de até 30 toneladas de CO₂ por ano.

³ Disponível em: <<https://www.datacenterknowledge.com/archives/2010/07/05/ibms-hot-water-supercomputer-goes-live>>. Acessado em 20/06/2019.

A água é amplamente usada como um refrigerador, mas geralmente é canalizada entre as instalações ou as máquinas. A 3M Company desenvolveu, em parceria com a Intel, um sistema de refrigeração por meio da imersão de supercomputadores em um líquido dielétrico.

Figura 3 - Sistema de Refrigeração desenvolvido pela 3M



Fonte: 3M⁴

O nome dado ao método é Novec e seu funcionamento se dá por meio das de partículas existentes no fluido que conduzem calor de forma mais rápida, devido à sua força de coesão. Dessa forma, a passagem de energia nesse estado físico é mais eficiente do que na forma gasosa (PORTAL GSTI, 2019).

Desenvolvedores em Tóquio também estão adotando o método de imersão, porém emprega-se o uso de óleo mineral. Segundo Pfanner (2014) o óleo mineral é quase tão eficaz e consideravelmente menos caro.

Diferentemente da água, o óleo mineral e os fluoroplásticos líquidos não conduzem eletricidade. Portanto, segundo especialistas, não há risco de curtos-circuitos no equipamento (PFANNER, 2014).

⁴ Disponível em: <https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/novec-br/>. Acessado em 20/06/2019.

3. CONCLUSÃO

Os dispositivos de computação utilizam o calor para operar de forma eficiente. Entretanto, vários componentes com o passar do tempo de operação, elevam de forma significativa suas temperaturas, podendo ocasionar uma falha de operação do equipamento, ou até mesmo comprometer o mesmo. Vista essa ocorrência de temperaturas elevadas, é necessário uma implantação de um sistema de resfriamento, que proporcione, uma normalização da temperatura dos equipamentos.

Os sistemas de resfriamento que podem ser utilizados em computadores, varia de acordo com a capacidade de aquecimento dos componentes que o compõe. Dentre os apresentados, os sistemas de ventilação possui um baixo custo, no entanto, não apresenta um bom desempenho. Já os sistemas de resfriamento por água, apresentam um custo mais elevado, porém sua capacidade de resfriamento utilizando troca de calor, é altamente eficiente.

REFERÊNCIAS

- BERNARDI, R. **Refrigeração a ar vs Refrigeração a água**. 2014. Disponível em: <<http://hardware.rbtech.info/refrigeracao-a-ar-x-refrigeracao-a-agua/>>. Acessado em 20/06/2019.
- EURONEWS. **Como funciona um supercomputador**. The European Commission, 2019. Disponível em: <<https://pt.euronews.com/2019/03/14/como-funciona-um-supercomputador>>. Acessado em 20/06/2019.
- FÁBIO, A. C. **Por que é tão difícil bancar um supercomputador no Brasil**. Nexo Jornal, 2016. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2016/06/23/Por-que-é-tão-difícil-bancar-um-super-computador-no-Brasil>>. Acessado em 23/06/2019.
- FIGUEIREDO, E. **Qual a temperatura ideal de um data center?** redes Tecnologia e Serviços, 2017. Disponível em: <<https://redestecnologia.com.br/qual-a-temperatura-ideal-de-um-data-center/>>. Acesso em 25 jun. 2019
- GARRET, F. **IBM cria Summit, supercomputador mais rápido do mundo de 200 petaflops**. TechTudo, 2018. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/06/ibm-cria-summit-supercomputador-mais-rapido-do-mundo-de-200-petaflops.ghtml>>. Acessado em 20/06/2019.
- MILLER, R. **IBM's Hot-Water Supercomputer Goes Live**. 2010. Disponível em: <<https://www.datacenterknowledge.com/archives/2010/07/05/ibms-hot-water-supercomputer-goes-live>>. Acessado em 20/06/2019.
- PFANNER, E. **Refrigeração de computadores por fluidos economiza energia**. Gazeta do Povo, 2014. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/mundo/new-york-times/refrigeracao-de-computadores-por-fluidos-economiza-energia-1s9u1ojr8zpjzc9ik8wz5smry/>>. Acessado em 20/06/2019.
- HEWLETT PACKARD ENTERPRISE. **A super-fast of supercomputer: from the CDC 6600 to the Sunway Taihulight**. Disponível em <<https://www.hpe.com/us/en/insights/articles/a-super-fast-history-of-supercomputers-from-the-cdc-6600-to-the-sunway-taihulight-1711.html>> Acessado em 26/06/2019.
- PORTAL GSTI. **Sistema de resfriamento por imersão reduz consumo de energia em 90%**. Disponível em: <<https://www.portalgsti.com.br/2017/08/sistema-de-resfriamento-por-imersao-reduz-consumo-de-energia-em-90.html>>. Acessado em 20/06/2019.

REDAÇÃO OLHAR DIGITAL. **Supercomputador resfriado com água quente - como é possível?** 2010. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/noticia/supercomputador-resfriado-com-agua-quente---como-e-possivel/12701>>. Acessado em 23/06/2019.

ROCKETZ. **Water Cooler: Água circulando dentro do seu PC?** Disponível em: <<https://rocketz.com.br/store/articles/water-cooler-agua-circulando-dentro-do-seu-pc>>. Acessado em 20/06/2019.

SARTURI, G. **SUPERCOMPUTADORES: Características e Aplicações**. Paranaguá, 2015.

TECHTUDO. **Core i7 e i9: veja o que mudou dos dois processadores da Intel**. Disponível em <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2017/06/core-i7-e-core-i9-veja-o-que-mudou-entre-os-dois-processadores-da-intel.ghml>> Acessado em 26/06/2019.

TECMUNDO. **O que são FLOPS?** Disponível em <<https://www.tecmundo.com.br/curiosidade/2845-o-que-sao-flops-.htm>> Acessado em 26/06/2019.

THOUGHT CO. **History of Supercomputers** Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/history-of-supercomputers-4121126>>. Acessado em 26/06/2019.

TOP 500. **Top500 List - june 2017**. Disponível em <<https://www.top500.org/list/2017/06/>> Acessado em 26/06/2019.