

PAPEL DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO COMBATE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

PEDRO HENRIQUE FONSECA MELO¹
LUCIANO GONÇALVES DE CARVALHO²

RESUMO

Mudanças climáticas, consumo energético e geração de resíduos eletrônicos representam alguns dos maiores desafios no ambiente tecnológico. Diante desse cenário o mundo visa uma redução no consumo energético, no descarte eletrônico e no impacto climático no setor de informática. Com relação ao lixo eletrônico é necessário o descarte adequado e o prolongamento da vida útil. No âmbito energético visa-se executar software e hardware de maneira eficiente para diminuir o estresse na rede elétrica nacional e no hardware dos computadores, ampliando a vida útil de equipamentos eletrônicos que, caso contrário, seriam descartados. Para avaliar o desempenho dessa redução de consumo de recursos energéticos e computacionais, foi realizada uma comparação na redução média atingida por 3 arquiteturas de gerenciamento de tarefas em um ambiente controlado. Os resultados apontam que a implementação desses gerenciadores reduziu o consumo energético em mais de 30%.

Palavras-chave: computação verde; mudanças climáticas; recursos computacionais.

ABSTRACT

Climate change, energy consumption and electronic waste generation represent some of the biggest challenges in the technological environment. Faced with this scenario, the world aims to reduce energy consumption, electronic waste and the climate impact on the information technology sector. Regarding electronic waste, it is necessary to properly dispose of it and extend its useful life. In the energy field, the aim is to run software and hardware efficiently to reduce stress on the national power grid and on computer hardware; thus, extending the useful life of electronic equipment that would otherwise be discarded. To evaluate the performance of this reduction in energy and computational resources consumption, a comparison was made in the average reduction achieved between 3 task management architectures in a controlled environment. The results prove that the implementation of these managers reduced energy consumption by more than 30%.

Key words: green computing; climate changes; computational resources.

¹Graduando, Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – FATEC. Mogi das Cruzes-SP. E-mail: pedro.melo6@fatec.sp.gov.br

²Docente, Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – FATEC. Mogi das Cruzes-SP.

INTRODUÇÃO

No século 21, duas das áreas que mais recebem investimento e atenção das pessoas são tecnologia e preservação ambiental, onde governos e empresas privadas estão cada vez mais utilizando a computação em suas respectivas áreas para tomada de decisões mais assertivas, criando uma cultura interna que passa a pensar sobre responsabilidade, sustentabilidade ambiental, justiça e governança (BENAMI, 2021). Considerando a expansão na utilização de recursos de hardware e software, uma preocupação recente está em como alocar recursos de forma a reduzir o gasto energético e a geração de resíduos eletrônicos.

Este artigo busca avaliar meios de redução do consumo energético de recursos computacionais e de maneira sustentável, por meio da comparação entre diferentes arquiteturas de controle desses recursos (LIGOZAT, 2022). A motivação para este estudo está no fato de que ao se implementar uma arquitetura de gerenciamento capaz de atribuir e retirar recursos computacionais automaticamente, tais como memória e processamento, consegue-se minimizar o desperdício no provisionamento desses mesmos recursos, ao evitar a alocação desnecessária e o descarte de equipamentos (YU, 2022 e ZHANG, 2019).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente artigo utilizou uma revisão bibliográfica para identificar arquiteturas de controle de recursos computacionais. Foram acessados o portal de artigos científicos ACM Digital Library e o indexador Google Acadêmico na busca de trabalhos relevantes na área de pesquisa aqui estudada. Após a identificação das referidas arquiteturas, procedeu-se uma comparação dessas diferentes arquiteturas e como uma utilização de recursos computacionais eficiente impacta nas mudanças climáticas, sobretudo no consumo energético. O estudo possui foco no Brasil, discutindo os impactos ambientais na má gerencia de equipamento, que

resulta em descarte de hardware considerado “obsoleto” e o uso energético nacional atribuído à computação.

REFERENCIAL TEÓRICO

Na área da tecnologia, o principal impacto climático da computação é resultado, sobretudo, do consumo energético e de recursos metálicos de seus componentes (LIGOZAT, 2022 e MALMODIN, 2018), características que não podem ser removidas, mas podem ter seu impacto reduzido.

Desde 2010, computadores, principalmente aparelhos celulares, se tornaram mais “inteligentes” e centralizados ao possuírem múltiplas finalidades que outrora teria um equipamento dedicado como o GPS (MALMODIN, 2018). Apesar dessa centralização de funções, isso representa um passo pequeno no combate às mudanças climáticas e na geração de resíduos eletrônicos, uma vez que isso é resultado dos avanços em hardware.

Pode-se concluir que os impactos ambientais no setor de informática permanecem grandes em termos de pegada de carbono, esgotamento de recursos e toxicidade dos resíduos eletrônicos. A baixa preocupação ambiental neste contexto é fruto da falta de incentivos e estruturas que possuam como pilar o desenvolvimento tecnológico sustentável, seja ele através de software ou hardware (LIGOZAT, 2022).

A forma como produzimos equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), e consumimos e descartamos o lixo eletrônico é insustentável (COSTALONGA, 2021). Ao considerar que maquinário simples é comumente trocado a cada 5 anos e que data centers têm uma expectativa de 15 a 20 anos, em virtude dos servidores que se desgastam na proporção de uso (PCX, 2020).

Em 2019, o mundo gerou 53,6 milhões de toneladas de lixo eletrônico, e apenas 17,4% desse montante foi oficialmente documentado e devidamente coletado e reciclado, conforme Tabela 1. Pode-se observar que o Brasil é um dos

maiores produtores de lixo eletrônico em comparação com outros países da América, além de possuir baixa taxa de reaproveitamento desses resíduos tecnológicos, que é resultado do descarte de hardware considerado obsoleto.

Tabela 1. Dados estimados de produção de lixo eletrônico.

País	Estimativa da quantidade de lixo eletrônico produzido	Lixo eletrônico gerado per capita	Lixo eletrônico documentado, recolhido e reciclado
Estados Unidos	6.918 T	15+ kg	15%
Brasil	2.143 T	10 a 15 kg	<1%
México	1.220 T	7 a 10 kg	<1%
Canadá	757 T	15+ kg	15%
Argentina	465 T	10 a 15 kg	<3%
Colômbia	318 T	4 a 7 kg	<1%
Jamaica	18 T	7 a 10 kg	1%
Guatemala	75 T	4 a 7 kg	<3%
Costa Rica	51 T	10 a 15 kg	<3%

Fonte: Adaptado de ONU (2020).

Com relação à utilização de processamento e memória, com a finalidade de se evitar hardware/software ocioso, YU (2022) propõe a compra de hardware que cumpre minimamente os requisitos da aplicação ao utilizar peças de menor capacidade de maneira completa ou a compra de equipamento com maior capacidade do que o necessário e dedicar esse excesso em outras aplicações, a fim de reduzir a quantidade de aparelhos tecnológicos descartados e a quantidade de insumos utilizados na criação desses aparelhos.

COSTALONGA (2021) propõe a adoção de práticas e ensinamentos visando minimizar o desperdício, que levam em consideração o compartilhamento de mecanismos ociosos, reutilização total ou em parte de ferramentas antigas e maior foco em produção de peças de maior produtividade e espaço, contribuindo para diminuir o consumo de matéria bruta. Ademais, MISHRA (2020) propõe um currículo acadêmico para melhorar o desempenho e o uso sustentável de sistemas

eletrônicos, garantindo a viabilidade econômica além das responsabilidades éticas e ambientais.

Adicionalmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) nos artigos 37 e 38, especifica que empreendimento ou atividades de gerência ou operação de resíduos perigosos, nesse caso o lixo eletrônico, só poderá ser autorizada se registrada no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos e apresente capacidade técnica no tratamento desses resíduos.

Considera-se que a adoção de arquiteturas de gerenciamento de recursos e alocação de recursos dinâmica, capaz de se adaptar à oferta e demanda no processamento de dados e alocação de memória, sirvam como meios de cumprir os artigos 37 e 38 do PNRS, minimizando o descarte a fim de diminuir o consumo de recursos brutos e reaproveitar hardware “obsoleto” que seria descartado (SCHNEIDER, 2016).

Mediante os dados da Tabela 1 é necessário considerar que parte desse descarte eletrônico pode ser reaproveitado para outra finalidade. Esse reaproveitamento de um item pode ser feito ao modificá-lo para se adequar a um novo uso, como doador de peças de uma família de produtos ou usando-o de uma nova maneira. Tais modificações podem ser tanto físicas quanto de software, exemplo disso seria a Apple que reaproveita peças de produtos muito danificados e os instala em outros em melhor estado, mas que precisam de determinadas peças (COSTALONGA 2021).

Salvaguardando a possibilidade de um maior custo financeiro, uma alternativa em software para gerenciamento de recursos há de ser implementada (ROSSITTO, 2022). Conclui-se que o uso de decisões algorítmicas na orientação e execução de decisões no gerenciamento de recursos tanto no nível governamental quanto privado podem solucionar problemas que outrora não seriam possíveis (BENAMI, 2021).

O consumo de energia elétrica no Brasil somou 497 TWh em 2021, sendo que 149.798 GWh foram utilizados na área residencial (30,1%) e 180.366 GWh para

a área industrial (36,3%) (CONCEG, 2022). Desse número, é estimado que 43 TWh seja desperdiçado anualmente e essa energia desperdiçada, já custou aos cofres públicos cerca de 52 bilhões de reais nos anos de 2015 a 2017 conforme o levantamento pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO).

Perante os valores de consumo elétrico e seu desperdício, é de interesse de ambas as partes, tanto a privada quanto da pública, que se tenha otimização desse consumo sobretudo em áreas como datacenters, conhecidos pela sua demanda, como foi apontado por United States Data Center Energy Usage Report (Shehabi, 2016). No ambiente brasileiro, em 2015 foi feito um levantamento sobre o consumo do data center da UNIVATES é de aproximadamente 28224 kW/mês sendo 30% desse valor (8600 kW/mês) dedicado exclusivamente a seus equipamentos (Santana, 2016).

A fim de compreender o consumo dos equipamentos da Univates em relação ao consumo energético do Brasil e as métricas estabelecidas pelo The Green Grid de Power Usage Effectiveness (PUE) (Avelar et al., 2012) sobre avaliação da utilização energética utilizando a seguinte equação 1.

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Energy}}{\text{IT Equipment Energy}} \quad (1)$$

Onde o valor PUE, quanto mais próximo de 1 indica maior eficiência de tal equipamento eletrônico. Nesse sentido, o valor obtido por Santana (2016) na Univates foi de 3,25 assim indicando que o equipamento era ineficiente no consumo da energia.

Ao se considerar os métodos de gerenciamento de recursos, o gasto energético de execução de uma aplicação é representado pela Equação 2.

$$E = P * T \quad (2)$$

Onde E, P e T representam o consumo de energia, potência do computador e tempo de duração da aplicação, respectivamente.

A fim de tornar processos computacionais mais eficientes perante o valor PUE, temos à disposição as seguintes arquiteturas de gerenciamento de recursos:

- Escala dinâmica de tensão e frequência (DVFS): é o ajuste das configurações de energia e velocidade em vários processadores, chips controladores e dispositivos periféricos de um ou mais computadores com o intuito de otimizar a alocação de recursos para as tarefas e diminuir o consumo de energia por recursos não necessários (Liu, 2018), podendo ser representada pela fórmula,

$$D = I * V^2 * f \quad (3)$$

Onde I é a potência, V é a voltagem e F a frequência.

- Cluster centralizado: proposto por KAFFES (2019), centraliza as tarefas em uma única máquina, as distribuindo entre seus núcleos e supervisionando os recursos locais, o que evita desequilíbrios de trabalho, migrações entre máquinas e sobrecarga em um núcleo quando existem outros núcleos inativos. A arquitetura de KAFFES se baseia no algoritmo FFT (FAST FOURIER TRANSFORM), buscando dividir as aplicações entre tarefas em lote e tarefas essenciais, Equação 4.

$$\frac{\text{FFT}}{\text{Energia}} = \frac{T}{P * E * 10^{-6}} \quad (4)$$

Onde T é a tecnologia do processador, P a potência, E o tempo de execução.

- Código Freyr (Yu, 2022): coleta dinamicamente recursos ociosos de invocações de funções super provisionadas e reatribui os recursos coletados para acelerar funções com baixa alocação. Para tal, o Freyr foi projetado para ser orientado a eventos e com uma rede de pontuação para justificar cada alocação. O código Fryer utiliza aprendizado de máquina, Equação 5

$$\text{Latência} = \frac{1}{|W|} \sum_{f \in W} \frac{e^i}{e^b} \quad (5)$$

Baseando-se nos valores configurados pelo usuário (eb), os dados obtidos pelo Fryer no aprendizado (ei) e a carga de trabalho W.

Para gerenciamento de recursos visa-se ajustar automaticamente os recursos da CPU ao detectar degradação de desempenho durante execuções de funções. Para tal fim, técnicas como DVFS e de escalonamento de cluster

centralizado (KAFFES, 2019) visam uma alocação de recursos de forma econômica, rápida e de baixa utilização energética.

De acordo com os dados fornecidos por Santana (2015), a Tabela 2 mostra diferentes consumos computacionais para cada aplicação que é executada no Datacenter.

Tabela 2. valores médios coletados ao usar programas de processamento.

Aplicação	Tipo da aplicação	Tempo de execução	Uso médio da CPU	Uso máximo da CPU	Uso da Memória	Uso da rede
Streaming Analytics (SA)	Curta duração	0.73 s	12.4%	14.2%	21.5 MB	0.1 MB/s
Image Resizing (IR)	Curta duração	0.66 s	8.6%	10.3%	24.4 MB	0.8 MB/s
Email Gen (EG)	Curta duração	0.64 s	19%	31%	45 MB	0.15 MB/s
Sentiment Review (SR)	Curta duração	1.03 s	18%	35%	91 MB	0.8 MB/s
File Encrypt (FE)	Curta duração	0.71 s	18%	33%	50 MB	1.3 MB/s
Stock Analysis (ST)	Curta duração	0.78 s	14%	26%	30 MB	0.75 MB/s
Comp. Fluid Dynamics (CFD)	Recurso intensivo	20.1 s	88.3%	100%	201.7 MB	2.2 MB/s
Nearest Neighbor (NN)	Recurso intensivo	8.2 s	68.5%	100%	126.4 MB	3.3 MB/s
Sorting (SO)	Recurso intensivo	44.9 s	90%	100%	318 MB	1.5 MB/s
Matrix Multiply (MM)	Recurso intensivo	19.85 s	85%	100%	60 MB	0.65 MB/s

Fonte: Suresh, (2020).

Na Tabela 2 são apresentadas as características de tempo de execução e uso de recursos dos aplicativos, sendo nítido que para vários aplicativos o uso médio da CPU e o pico, geralmente ficam muito abaixo de 100%, ou seja, aplicações

com recursos em abundância, recursos esses que poderiam ser atribuídos a outros processos da máquina ou aplicações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao considerar o custo de energia gasto mensalmente pelo computador da Univates, que é de 85882,8896 kW/mês, o tempo de execução de cada aplicação listada na Tabela 2, aplicando-se a fórmula de custo energético relativo a cada arquitetura utilizada, obtemos os custos aproximados relativos ao consumo de energia. A Tabela 3 traz uma comparação entre os valores de custo de energia sem o uso de arquitetura de gerenciamento, e com as arquiteturas estudadas neste trabalho.

As colunas da Tabela 3, identificadas por Freyr, DVFS, Cluster centralizado, bem como os seus valores, representam a utilização energética obtida ao utilizar as respectivas arquiteturas durante a execução das aplicações. Assim temos como resultado uma redução aproximada de 32% e 35% nos custos energéticos dos equipamentos de TI ao utilizar os métodos Freyr, DVFS, respectivamente e no Cluster Centralizado houve uma diminuição aproximada de 40% em processos de longa duração, embora tenha tido o efeito contrário com os de rápida duração, ao aumentar o consumo em mais de 50%, quando comparado com os valores sem o uso das arquiteturas.

Ao recalcular os custos energéticos mensais o método Fryer obteve em média 5827,46193 kW/mês (redução em 32%), DVFS resultou em 5876,621 kW/mês (redução em 31,5%) enquanto o Cluster Centralizado obteve valores distintos mediante a duração de cada processo, em processos de longa duração obteve uma média de 4991,488 kW/mês (redução em 41%) mas durante processos de curta duração resultou em 23661,249 kW/mês (aumento em 176%) no consumo elétrico.

Papel da utilização de recursos computacionais no combate às mudanças climáticas.	Pedro Henrique F. Melo; Luciano G. de Carvalho.
---	--

Tabela 3. Valores aproximados de economia de custo energético.

Nome Aplicação	Custo Energético (Joule)	Freyr (Joule)	DVFS (Joule)	Cluster centralizado (Joule)
Matrix Multiply (MM)	236,625	160,668	162,023	190,184
Sorting (SO)	535,238	363,426	366,490	84,079
Nearest Neighbor (NN)	97,749	66,371	66,931	460,386
Comp. Fluid Dynamics (CFD)	239,605	162,692	164,063	187,819
Stock Analysis (ST)	9,298	6,313	6,366	4839,958
File Encrypt (FE)	8,463	5,746	5,795	5317,137
Sentiment Review (SR)	12,278	8,336	8,407	3665,211
Email Gen (EG)	7,629	5,180	5,223	5898,699
Image Resizing (IR)	7,867	5,342	5,387	5719,951
Streaming Analytics (SA)	8,702	5,908	5,958	5171,462

Fonte: Os autores, (2022).

Assim é possível diminuir significativamente o gasto energético dedicado a TI e estender a vida útil desses computadores. Esse aumento do tempo de vida útil, resultado da prevenção de sobrecarga dos componentes, promove a diminuição do esforço e a ociosidade computacional. Portanto uma boa utilização dos recursos disponíveis não só provê uma diminuição em gastos de energia, mas também uma diminuição na geração de lixo eletrônico.

CONCLUSÃO

Conclui-se então que a adoção de práticas automatizadas de atribuições de recursos reduz de forma significativa o consumo energético e o mal provisionamento de recursos computacionais, implementar tais práticas de redução em processamento é possível, usando os métodos avaliados, diminuir o consumo energético mensal em até 41%. Estima-se que os fatores apresentados tenham um impacto positivo na luta contra as mudanças climáticas ao reduzir consideravelmente o consumo energético no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIGOZAT, A-L. et al. 2022. **How to Integrate Environmental Challenges in Computing Curricula?** <https://doi.org/10.1145/3478431.3499280>. Acesso em: 12/11/2022.

ZANOCCO, C. et al. 2018. **Co-producing software for complex environmental data visualization.** <https://doi.org/10.1145/3209281.3209406>. Acesso em: 11/11/2022.

ROSSITTO, C. et al. 2022. **Towards Digital Environmental Stewardship: The Work of Caring for the Environment in Waste Management.** <https://doi.org/10.1145/3491102.3517679>. Acesso em: 10/11/2022.

BENAMI, E. et al. 2021. **The Distributive Effects of Risk Prediction in Environmental Compliance: Algorithmic Design, Environmental Justice, and Public Policy.** <https://doi.org/10.1145/3442188.3445873>. Acesso em: 09/11/2022.

FIESC. 2022. **Desperdício elétrico no Brasil equivale ao consumo de 20 milhões de residências.** <https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/desperdicio-eletrico-no-brasil-equivale-ao-consumo-de-20-milhoes-de-residencias>. Acesso em: 21/11/2022.

YU, H. et al. 2022. **Accelerating Serverless Computing by Harvesting Idle Resources.** <https://doi.org/10.1145/3485447.3511979>. Acesso em: 04/11/2022.

ASSESSORIA DO CONCEG. 2022. **Como foi o consumo de eletricidade em 2021?** <https://conceg.com.br/como-foi-o-consumo-de-eletricidade-em-2021/>. Acesso em: 21/11/2022.

SHEHABI, A. et al. 2016. **United States Data Center Energy Usage Report**. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1005775_v2.pdf. Acessado em: 21/11/2022.

BALL, J. 2020. **When Is the Right Time to Expand Your Company's Data Center Design?** <https://info.pcxcorp.com/blog/when-is-the-right-time-to-expand-your-companys-data-center-design#:~:text=The%20average%20lifespan%20of%20a,to%20be%20upgraded%20much%20sooner>. Acessado em: 15/11/2022.

JUNIOR, J. S. F. 2015. **Centro universitário univates centro de ciências exatas e tecnológicas curso de engenharia da computação**. <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/4d478df9-bf8b-4b67-8ddd-dc9b67638e2f/content>. Acessado em: 16/11/2022

KAFFES, K. et al. 2019. **Centralized Core-Granular Scheduling for Serverless Functions**. <https://web.stanford.edu/~kkaffes/papers/socc19-kaffes.pdf>. Acessado em: 19/11/2022.

L12305 – **Planalto, Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2010 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acessado em: 17/11/2022.

COSTALONGA, L. et al. 2021. **The Raggicking DMI Design: The Case for Green Computer Music**. <https://doi.org/10.1145/3483529.3483711>. Acessado em: 05/11/2022.

MALMODIN, J.; LUNDÉN D. 2018. **The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015**. <https://doi.org/10.3390/su10093027>. Acessado em: 14/11/2022.

MISHRA, D.; MISHRA A. 2020. **Sustainability Inclusion in Informatics Curriculum Development**. <https://doi.org/10.3390/su12145769>. Acessado em: 18/11/2022.

ONU. 2020. **The Global E-waste Monitor 2020 – Quantities, flows, and the circular economy potential**. https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf. Acessado em: 08/11/2022.

PAANANEN, T. 2021. **Fast Fourier Transform Power Consumption Optimization**. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/131382>. Acessado em: 20/11/2022.

Suresh, Amoghavarsha et al. 2020. **ENSURE: Efficient Scheduling and Autonomous Resource Management in Serverless Environments**. https://www3.cs.stonybrook.edu/~anshul/acsos20_ensure.pdf. Acessado em: 06/11/2022.

SCHNEIDER, A. F. 2016. **The recycling of electronic waste: Regulations and corporate strategies in Brazil and in Europe**. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-18082016-083507/publico/AliceFrantzSchneiderOrig16.pdf>. Acessado em: 07/11/2022.

ZHANG, X.; LI, L. 2019. **The dilemma and construction path of environment protection social organizations participating in environmental governance: based on the perspective of state capacity**. <https://doi.org/10.1145/3323716.3323745>. Acessado em: 13/11/2022.

LIU, X. et al. 2018. **Energy-aware task scheduling strategies with QoS constraint for green computing in cloud data centers**. <https://doi.org/10.1145/3264746.3264792>. Acessado em: 03/11/2022.