

Levantamento sobre Técnicas de Escalonamento para Computação Verde em Nuvem

Miguel F. S. Vasconcelos¹, Daniel Cordeiro¹

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo – SP – Brasil

{miguel.vasconcelos, daniel.cordeiro}@usp.br

Abstract. *The popularization of Cloud Computing platforms resulted in a significant increase in the use of electricity for platform operations: about 1% of the world's energy consumption is now due to data centers. This paper presents an exploratory review on the computational resources management techniques and scheduling algorithms for cloud computing platforms aiming to maximize the use of renewable energy.*

Resumo. *A popularização do uso de plataformas de Computação em Nuvem resultou em um aumento significativo do uso de energia elétrica para a operação de tais plataformas: cerca de 1% da energia produzida no mundo é utilizada em data centers. Este trabalho apresenta uma revisão exploratória sobre as técnicas de gerenciamento de recursos computacionais e de escalonamento para plataformas de Computação em Nuvem que tem como objetivo maximizar o uso de energias renováveis.*

1. Introdução

A computação em nuvem revolucionou o mundo industrial e acadêmico de Tecnologia da Informação com sua capacidade de fornecer, sob demanda, grandes quantidades de recursos computacionais.

Entretanto, como consequência, o consumo de eletricidade das instalações em que essas plataformas são hospedadas — *data centers*, está cada vez maior. Durante 2018, estima-se que os *data centers* consumiram aproximadamente 198 TWh, ou cerca de 1% da demanda global de eletricidade [IEA 2019]. Para fins de comparação, nesse mesmo período, a demanda de eletricidade do estado de São Paulo, com mais de 45 milhões de habitantes, considerando todos os setores (residencial, comercial, rural, industrial, iluminação pública, poder público, serviço público) foi de 132 TWh [SIMA 2019].

Além de resultar em altos custos para os operadores dos *data centers*, esse consumo de eletricidade também é fonte de poluição e emissão de gases de efeito estufa, uma vez que a maior parte da energia utilizada origina-se de fontes não renováveis [Greenpeace 2017].

Esse problema está sendo explorado pela comunidade acadêmica e pela indústria. Nos últimos anos, grandes empresas de tecnologia em nuvem, como Amazon AWS, Apple e Microsoft, estão envolvidas em projetos para implantar painéis de energia solar em seus *data centers* [Greenpeace 2017]. Dado esse contexto, o presente trabalho visa compreender quais abordagens estão sendo exploradas pela comunidade acadêmica para

realizar o escalonamento das máquinas virtuais de forma a maximizar o uso de energia renovável. Mais especificamente, visa responder as seguintes questões: i) Quais técnicas de escalonamento são utilizadas para reduzir o consumo total de energia e aumentar o uso de energias renováveis em plataformas de computação em nuvem? ii) Para a validação do modelo/algoritmo foi utilizado algum simulador? Se sim, qual? iii) Qual conjunto de dados foi utilizado para a execução do modelo? e iv) Quais são os *baselines* usados para avaliação?

2. Metodologia

Foi realizada uma revisão exploratória que utilizou o seguinte termo para a busca (adaptado para cada plataforma de busca): “(energy-aware OU green energy) E (scheduling OU scheduler) E (cloud OU datacenter OU datacentre)”. Em relação ao termo de busca, “energy-aware” foi usado para tentar encontrar trabalhos que objetivam otimizar o consumo de eletricidade em suas soluções, “green energy” trabalhos que consideram energia renováveis, “scheduling” e “scheduler” trabalhos que utilizam técnicas de escalonamento, visto que diversas técnicas podem ser empregadas para economizar energia em data centers, “cloud”, “datacenter” e “datacentre” para levantar os trabalhos que consideram os *data centers* de plataformas de computação em nuvem. Somente considerou-se artigos publicados entre 2014 e 2019 e as seguintes plataformas de busca foram contempladas: IEEE Xplore, ACM Digital Library e SCOPUS¹.

3. Resultados

A revisão encontrou os seguintes trabalhos e técnicas empregadas:

Pergunta i) *Quais técnicas de escalonamento são utilizadas para reduzir o consumo total de energia e aumentar o uso de energias renováveis em plataformas de computação em nuvem?*

R: Heurística Gulosa: Lei et al. (2015), Li et al. (2015), Camus et al. (2017), Li et al. (2017), Camus et al. (2018a), Camus et al. (2018b), De Courchelle et al. (2019) e Pierson et al. (2019); **Programação Linear Inteira:** Gu et al. (2016) e Pierson et al. (2019); **Processos Estocásticos:** Camus et al. (2017), Camus et al. (2018a) e Camus et al. (2018b); **Teoria dos jogos:** Pierson et al. (2019).

Pergunta ii) *Para a validação do modelo/algoritmo foi utilizado algum simulador? Se sim, qual?*

R: DCSim: Camus et al. (2017); **SimGrid:** Camus et al. (2018a), Camus et al. (2018b) e Pierson et al. (2019); **RenewSim:** De Courchelle et al. (2019); **MATLAB:** Gu et al. (2016) e Pierson et al. (2019); **Desenvolveram o simulador:** Lei et al. (2015), Li et al. (2015) e Li et al. (2017).

Pergunta iii) *Qual conjunto de dados foi utilizado para a execução do modelo?*

R: Dados de carga de trabalho: Banco de dados do Google: Lei et al. (2015), Camus et al. (2018a), De Courchelle et al. (2019) e Pierson et al. (2019); **ClarkNet HTTP:** Camus et al. (2017); **Eucalyptus IaaS:** Camus et al. (2018b); **EasyVirt:** Li et al. (2015); **Banco de dados da Universidade de Nantes:** Li et al. (2017); e **Wikimedia:** Gu et al. (2016).

¹Fontes: <http://ieeexplore.ieee.org/>, <http://www.scopus.com/> e <https://dl.acm.org/>

R: Dados de geração de energia solar: Banco de dados da Universidade de Nantes: Li et al. (2015), Camus et al. (2017), Li et al. (2017), Camus et al. (2018a) e Camus et al. (2018b); **Modelo de predição:** De Courchelle et al. (2019); **NSRDB:** Pierson et al. (2019); **MIDC NREL:** Gu et al. (2016); **Bruxelas 06/2012:** Lei et al. (2015).

Pergunta iv) Quais são os baselines usados para avaliação?

R: Round Robin: Camus et al. (2017); Camus et al. (2018a), Camus et al. (2018b) e De Courchelle et al. (2019); **First Fit:** Lei et al. (2015), Camus et al. (2018a), Camus et al. (2018b) e De Courchelle et al. (2019); **First Fit Decreasing:** Li et al. (2015) e Li et al. (2017); **Programação Linear Inteira:** Gu et al. (2016); **Técnicas de overcommit:** Li et al. (2017); **Modified Best Fit Decreasing :** Camus et al. (2018b); **OOD-MARE:** Camus et al. (2018b); **GreenSlot:** Pierson et al. (2019); e **Best-Fit:** Pierson et al. (2019);

Durante a realização da revisão exploratória também foi encontrada uma revisão sistemática realiza por Deng et al. (2014). O trabalho foca em 5 aspectos: i) modelos de geração de energia renovável; ii) modelos de predição de energia renovável; iii) planejamento de capacidade para *data centers*; iv) escalonamento de carga de trabalho a nível interno dos *data centers*; e v) balanceamento de carga entre *data centers* distribuídos geograficamente.

Segundo os autores, o principal desafio em utilizar energia renovável em *data centers* é sua natureza variável, intermitente e não previsível. Eles acreditam que pesquisas futuras na área devem visar a combinação entre a incerteza na demanda de energia dos *data centers* e diversas fontes de energia de maneira complementar [Deng et al. 2014].

4. Conclusão

Embasado nos resultados obtidos com o presente trabalho, é possível observar que o problema de redução do consumo de energia não renovável em plataformas de computação em nuvem geograficamente distribuídas está sendo abordado de diversas maneiras. Esta revisão da literatura mostrou que 88% dos trabalhos encontrados utilizam algum tipo de heurística gulosa para realizar o escalonamento das tarefas. Isso se deve ao fato de que o problema de escalonamento que deve ser resolvido é inerentemente difícil (NP-difícil), mas os requisitos de qualidade de serviço (QoS) oferecidos por tais plataformas exigem o uso de um algoritmo de escalonamento que seja polinomial, ainda que o resultado obtido não seja ótimo. Um possível trabalho futuro é considerar o uso de baterias em *data centers* geograficamente distribuídos para armazenar energia renovável e o impacto disto no gerenciamento de recursos e escalonamento de tarefas.

Referências

- Camus, B., Blavette, A., Dufossé, F., and Orgerie, A. (2018a). Self-Consumption Optimization of Renewable Energy Production in Distributed Clouds. In *2018 IEEE International Conference on Cluster Computing*, pages 370–380, Belfast, UK. IEEE.
- Camus, B., Dufossé, F., and Orgerie, A.-C. (2017). A stochastic approach for optimizing green energy consumption in distributed clouds. In *SMARTGREENS 2017 - International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems*, Porto, Portugal.

- Camus, B., Dufossé, F., Blavette, A., Quinson, M., and Orgerie, A. (2018b). Network-Aware Energy-Efficient Virtual Machine Management in Distributed Cloud Infrastructures with On-Site Photovoltaic Production. In *2018 30th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing*, pages 86–92, Lyon, France.
- De Courchelle, I., Guérout, T., Da Costa, G., Monteil, T., and Labit, Y. (2019). Green energy efficient scheduling management. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 93:208–232.
- Deng, W., Liu, F., Jin, H., Li, B., and Li, D. (2014). Harnessing renewable energy in cloud datacenters: opportunities and challenges. *IEEE Network*, 28(1):48–55.
- Greenpeace (2017). Clicking Clean - Greenpeace International, <https://www.greenpeace.org/international/publication/6826/clicking-clean-2017/>, Janeiro.
- Gu, C., Huang, H., and Jia, X. (2016). Green scheduling for cloud data centers using esds to store renewable energy. In *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–7, Kuala Lumpur, Malásia. IEEE.
- IEA (2019). Data centres and data transmission networks.
- Lei, H., Zhang, T., Liu, Y., Zha, Y., and Zhu, X. (2015). SGEESS: Smart green energy-efficient scheduling strategy with dynamic electricity price for data center. *Journal of Systems and Software*, 108:23–38.
- Li, Y., Orgerie, A., and Menaud, J. (2015). Opportunistic Scheduling in Clouds Partially Powered by Green Energy. In *2015 IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems*, pages 448–455, Sydney, NSW, Australia. IEEE.
- Li, Y., Orgerie, A., and Menaud, J. (2017). Balancing the use of batteries and opportunistic scheduling policies for maximizing renewable energy consumption in a cloud data center. In *2017 25th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP)*, pages 408–415, São Petersburgo, Russia. IEEE.
- Pierson, J., Baudic, G., Caux, S., Celik, B., Costa, G. D., Grange, L., Haddad, M., Lecuire, J., Nicod, J., Philippe, L., Rehn-Sonigo, V., Roche, R., Rostirolla, G., Sayah, A., Stolf, P., Thi, M., and Varnier, C. (2019). Datazero: Datacenter with zero emission and robust management using renewable energy. *IEEE Access*, 7:103209–103230.
- SIMA (2019). SIMA divulga balanço energético do estado de SP 2019, <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2019/09/sima-divulga-balanco-energetico-do-estado-de-sp-2019.html>, Setembro.