

Análise do Consumo de Energia de Migração de Máquinas Virtuais em Nuvem IaaS

Laura Arielle Hoffmeister Basedone, Maurício Aronne Pillon

Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Joinville, Brasil

labasedone@gmail.com, mauricio.pillon@udesc.br

Abstract. *One of the main variable costs of a data center is electricity. Only in 2013 did Google's data centers consume around 260 million Watts of energy, equivalent to 0.01% of the energy consumed worldwide. Seen from the financial aspect and associated with energy consumption, the energy cost of maintaining an idle machine ($\leq 10\%$) active is high compared to the consumption of this same machine at 100%. Investments in consolidation techniques have become an ally in reducing costs by optimizing the capacity of data center resources and enabling the shutdown of idle machines. The objective of this work is to measure the impact generated by the application of the consolidation technique, focusing on the migration of virtual machines in IaaS computational clouds, in energy consumption. If, on the one hand, the decision to consolidate aims at reducing energy consumption, on the other hand, provisioning with reorganization of the virtual machines in the available resources can generate additional consumption. It is a fact that the migration generates additional consumption of energy due to the increase of operations in the network infrastructure and the effective displacement of the service. Therefore, quantifying and analyzing these aspects are the main contributions of this work.*

Resumo. *Um dos principais custos variáveis de um data center é a energia elétrica. Só em 2013 os data centers da Google consumiram cerca de 260 milhões de Watts de energia, o equivalente a 0,01% da energia consumida mundialmente. Visto pelo aspecto financeiro e associado ao consumo de energia, o custo energético de manter uma máquina ociosa ($\leq 10\%$) ativa é alto se comparado com o consumo desta mesma máquina a 100%. Investimentos em técnicas de consolidação se tornaram um aliado na redução de custos, pois otimizam a capacidade de recursos de data centers e possibilitam o desligamento de máquinas ociosas. No contexto deste trabalho, tem-se por objetivo mensurar o impacto gerado pela aplicação da técnica de consolidação, com foco na operação de migração de máquinas virtuais em nuvens computacionais IaaS, no consumo de energia. Se por um lado, a decisão de consolidar visa reduzir o consumo de energia, por outro, o provisionamento com reorganização das máquinas virtuais nos recursos disponíveis pode gerar consumo adicional. É fato que a migração gera consumo adicional de energia decorrente do aumento de operações na infraestrutura de rede e no efetivo deslocamento do serviço. Portanto,*

quantificar e analisar estes aspectos são as principais contribuições deste trabalho.

I. INTRODUÇÃO

Empresas tecnológicas que consomem um elevado volume de energia elétrica têm se preocupado em reduzir seus custos financeiros e impactos gerados ao meio ambiente decorrente de suas atividades. Um dos principais custos variáveis de um *data center* é a energia elétrica. Só em 2013 os *data centers* da Google consumiram cerca de 260 milhões de Watts de energia, o equivalente a 0,01% da energia consumida mundialmente [1] [2].

O consumo energético de um *data center* vem, principalmente, da carga de processamento do conjunto de máquinas que o compõem. Este consumo varia de acordo com a taxa de utilização dos recursos e o percentual de recursos ativos por período. Consequentemente, os custos energéticos associados a estes consumos também seguem este comportamento. O modelo Virtual Power, proposto por [3], descreve o comportamento do consumo energético de um servidor virtualizado. Neste modelo, os autores baseiam-se na taxa de utilização dos recursos (processador, memória, disco e rede) para apurar o custo individual de cada máquina virtual, isto ponderado segundo a utilização de cada recursos por cada máquina virtual dinamicamente por períodos.

Por sua vez [4] afirma que o consumo máximo de energia de uma máquina é atingido quando seu processamento está em 100%. Uma máquina ociosa, ou seja com carga inferior a 10%, de sua capacidade máxima de processamento, pode atingir 50% do consumo desta mesma máquina em sua plenitude. Pode-se concluir que, visto pelo aspecto financeiro, o custo energético de manter uma máquina ociosa ativa é alto se comparado com o consumo desta mesma máquina a 100%.

Investimentos em técnicas de consolidação são aliados na redução de custos, pois otimizam a capacidade dos *data centers* e possibilitam o desligamento de máquinas ociosas [32]. A técnica de consolidação consiste, basicamente, na alocação dos recursos solicitados pelos usuários de um *data center* no menor número de máquinas físicas neste ambiente. Em contra partida, tornar um *data center* totalmente consolidado dificulta a gestão de recursos no que se refere a elasticidade, disponibilidade e, ate mesmo, a eficiência energética [5]. No que se refere ao processador, a melhor relação entre desempenho e consumo energético atinge seu ápice quando a taxa de processamento encontra-se próximo a 80%.

A curva de consumo energético é crescente de acordo com a taxa de utilização do processador, porém ela acentua-se fortemente com a proximidade da saturação do recurso. A escolha das máquinas e as restrições impostas pela SLA não são focos de discussão neste trabalho. Portanto, para esta análise considera-se que o administrador do *data center* já tenha tratado destes aspectos e definido a(s) máquina(s) passíveis de consolidação.

Acomodar máquinas virtuais ou containers que encontram-se em operação (executando) no menor conjunto de máquinas físicas pode exigir que estas máquinas ou estes containers sejam hospedados em outras máquinas físicas. A técnica de deslocar aplicação, containers ou máquinas chama-se migração [6] [7]. Esta funcionalidade esta disponível em vários gerenciadores de *data centers* e nuvem computacional. Entre os gerenciadores de nuvem computacional mais conhecidos e utilizados está o OpenStack. De código aberto, ele possui ampla documentação e suporta migração de máquinas virtuais.

No contexto deste trabalho, tem-se por objetivo mensurar o impacto gerado no consumo de energia pela aplicação da técnica de consolidação de máquinas virtuais em nuvens computacionais IaaS, mais especificamente, pela aplicação da operação de migração. O desligamento de máquinas físicas ociosas parece promissor no que se refere a redução no consumo de energia elétrica do *data center*. Porém, a aplicação da consolidação e, muitas vezes conseqüentemente migração, gera consumo adicional de energia decorrente do aumento de operações na infraestrutura de rede e no efetivo deslocamento do serviço. Quantificar e analisar estes aspectos são as principais contribuições deste trabalho.

Este artigo está dividido em 6 seções, contando com esta introdução. A seção II apresenta a fundamentação teórica e trabalhos relacionados. A seção III descreve o ambiente de testes, o *benchmark* e o cenário de testes. Em seguida, o texto conta com a seção IV que discute os resultados. Finalmente, as últimas duas seções V e VI ressaltam as contribuições e trabalhos futuros.

II. NUVENS COMPUTACIONAIS, CONSOLIDAÇÃO E MIGRAÇÃO

O impacto no consumo de energia no *data center* varia de acordo com a técnica de consolidação empregada ou a forma de gerenciamento da infraestrutura da nuvem computacional. Portanto, nesta seção, são descritos os conceitos, as definições e as categorias dos componentes de análise do impacto.

A. *Nuvens Computacionais e eficiência energética*

Nuvem computacional é um modelo que permite um acesso universal e adequado à rede sob-demanda para um conjunto compartilhado de recursos computacionais configuráveis (por exemplo: rede, servidores, armazenamento, aplicações, serviços) que podem ser rapidamente fornecidos e disponibilizados com um mínimo de esforço de gestão ou interação com o fornecedor do serviço [19] [26].

Existem quatro tipos de abordagem de implementações de nuvens computacionais, divididas pela forma como a nuvem é integrada ao ambiente, nuvens públicas, privadas, comunitárias e híbridas [19].

As nuvens públicas são caracterizadas por expor seus recursos permitindo o contrato de seus serviços por múltiplos usuário. Disponibilizada através da Internet para o público em geral, pode ainda ser gerida de uma ou mais entidades. Na infraestrutura da nuvem privada sua utilização é exclusiva de uma organização ou usuário. Nuvens comunitárias são implementadas quando mais de uma organização dispõe de requisitos semelhantes, justificando o compartilhamento da infraestrutura. A Híbrida é a combinação de duas ou mais das categorias anteriores [19].

Independente do tipo de serviço dos *data centers* modernos, o interesse pela eficiência energética [28] [25] [29] e, conseqüentemente, por técnicas de consolidação [27] é justificado pelo consumo de energia elétrica e preservação ambiental. O consumo energético representa cerca de 12% do gasto total dos *data centers* [22] enquanto, no âmbito da preservação ambiental, cerca de 2% da emissão global de dióxido de carbono é produzido pelas infraestruturas de *data centers* [21].

Para colocar em prática a eficiência energética, a infraestrutura de gerenciamento de nuvem computacional precisa monitorar o consumo de energia e estabelecer indicadores de cargas de trabalho. Desta forma, é possível identificar a

origem do gasto ponderado de energia elétrica e aplicar políticas para economizar energia, tais como, consolidação de máquinas virtuais [30] [31]. Segundo [23], em geral espera-se que o quanto maior o processamento, mais energia é consumida. No entanto, a comparação entre *data centers* mais energeticamente eficiente se dá na capacidade de carga de trabalho executada com o mesmo consumo de energia. Levando em consideração que a carga de trabalho varia de acordo com demanda, as máquinas virtuais devem ser alocadas dinamicamente no menor número possível de servidores físicos. A migração das máquinas virtuais, base para realização de técnicas de consolidação de *data centers*, demonstra ser fundamental para aumentar o poder de eficiência da nuvem computacional.

B. Consolidação

A ideia da consolidação consiste em executar um conjunto de instâncias no menor número de máquinas físicas. Em nuvem, uma instância pode ser uma máquina virtual ou um container [7]. Sob o aspecto teórico, consolidar máquinas virtuais ou containers pode ser visto da mesma forma [8].

O desafio na construção da consolidação é ter um algoritmo que permita alocar o conjunto de recursos solicitados de forma otimizada no menor conjunto de recursos físicos. Este problema pode ser classificado como *NP-Hard*. O objetivo deste trabalho é mensurar o impacto dos componentes utilizados pela técnica de consolidação empregada, independente do algoritmo utilizado. Portanto, os componentes analisados e conceituados a seguir são migração de máquinas virtuais, aplicação, containers e o gerenciador de infraestrutura de nuvens OpenStack [24].

C. OpenStack

O OpenStack é uma solução de código aberto para criar e gerenciar infraestruturas de nuvem [9]. O OpenStack explora componentes e bibliotecas de código aberto bem conhecidos além de gerenciar recursos de nuvem que permitem alocações dinâmicas de instâncias. Os principais componentes do OpenStack são ilustrados na Figura 1. Neste contexto destacam-se dois projetos específicos, o projeto Nova e o projeto Swift.

O projeto Nova do OpenStack, através da biblioteca *Libvirt* [10], gerencia as necessidades de recursos computacionais, escalabilidade, autorizações e, sobretudo, a rede das instâncias hospedadas na nuvem [11]. O projeto Swift é responsável pela infraestrutura de armazenamento de vários objetos em máquinas distribuídas. Outra funcionalidade essencial do Swift é o arquivamento e fornecimento de *streaming* de mídia, onde ele gerencia falhas e habilita a redundância, aumentando a disponibilidade aos dados armazenados [12].

As formas de armazenamento disponíveis em OpenStack são: (i) armazenamento em bloco e (ii) armazenamento baseado em objetos. O projeto Cinder, responsável pelo armazenamento em blocos, virtualiza o gerenciamento de dispositivos de armazenamento em bloco fornecendo o serviço aos usuários através de uma API de auto-atendimento. Para obter o seu arquivo, o usuário não precisa saber a localização nem o tipo de dispositivo onde os dados estão armazenados [13]. Responsável pelo armazenamento de objetos, o Swift armazena cada objeto usando um caminho derivado do *hash* do nome do objeto e o *timestamp* da operação. A última escrita sempre ganha e garante que a versão mais recente do objeto seja atendida. A exclusão também é tratada como uma versão do arquivo. Assim sendo, os usuários têm a garantia que os arquivos

excluídos são replicados corretamente e, que as versões mais antigas, não reaparecem, em caso de falha [12].

O Ceph é um sistema de arquivos distribuídos, oferece desempenho e confiabilidade prometendo melhora no nível de escalabilidade. É adaptável pois possui uma arquitetura de *cluster* de metadados distribuídos. O que ele faz é desacoplar operações de dados e metadados eliminando tabelas de alocação de arquivos e substituindo-as por funções geradoras [14].

A configuração do OpenStack com o Ceph particiona o disco de cada máquina virtual iniciada entre as máquinas disponíveis para armazenamento. Nas operações de migração de instância, são migrados os metadados de acesso à sua respectiva parte alocada do disco. O Ceph é útil quando o gerenciador da nuvem necessita de uma estratégia rápida de gerenciamento de espaço. Desta forma o acesso ao disco desta instância é feito simultaneamente em todas as partições, otimizando o tempo de acesso e armazenamento dos dados.

D. Migrações de máquinas virtuais

Migrações de máquinas virtuais consiste na técnica de deslocamento físico de uma máquina virtual hospedada em uma máquina física “A” para uma máquina física “B”. De acordo com [15], existem dois tipos de abordagens de migração de máquinas virtuais amplamente referenciadas na literatura *Live-migration* e *Cold-migration*.

- **Live-migration:** São migrações realizadas ao mesmo tempo em que as máquinas virtuais estão ativas. São úteis quando não é possível ou desejável parar o aplicativo em execução na instância [16].

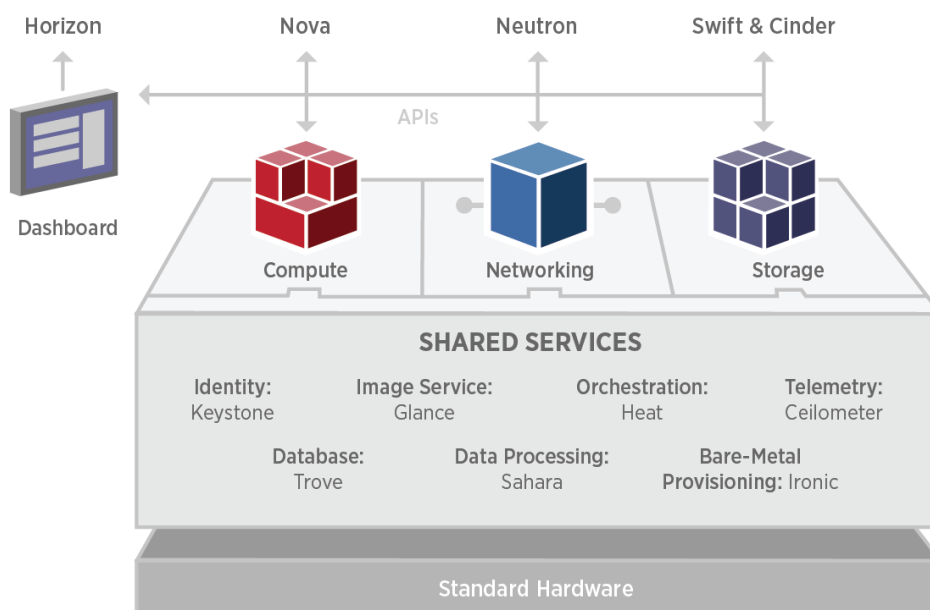


Fig. 1. Tecnologias OpenStack [retirado de <http://appko.com/openstack.html>]

- **Cold-migration:** A instância da máquina virtual é encerrada na máquina física de origem, transferida para a máquina física de destino e, posteriormente, reiniciada em seu novo hospedeiro. Portanto, durante o processo de snapshot, transferência e inicialização o serviço encontra-se indisponível. São úteis nos casos em que a instância não precisa ou não deve sofrer qualquer tipo de atualização durante a migração [6].

O OpenStack suporta migrações integradas a sua lista padrão de operações. O caso mais simples de migração de máquina virtual (*Cold-migration*) não apresenta escolha referente a forma de armazenamento. Neste tipo de migração não é relevante, durante a operação, a forma de armazenamento visto que, neste caso, a máquina virtual é encerrada para ser realizada a migração. A operação de *Live-migration* é tratada pelo OpenStack de três diferentes formas, de acordo com a forma de armazenamento utilizada pela instância. As três formas são ilustradas na Figura 2 e descritas a seguir.

- **Baseada em armazenamento compartilhado:** A instância tem discos momentâneos localizados no armazenamento compartilhado entre as máquinas de origem e destino e, portanto, não precisa copiar os discos durante a operação de migração.
- **Baseada em blocos:** Neste caso a instância não tem seus discos momentâneos localizados no armazenamento compartilhado entre as máquinas de origem e destino. O disco precisa ser copiado entre as máquinas, com isso demora mais tempo na execução e coloca mais carga na rede.
- **Com suporte à volume:** As instâncias usam volumes ao invés de discos momentâneos. As informações para escritas específicas das instâncias estão no *backend* de armazenamento (TLOGs). Não há cópia discos.

A consolidação é uma técnica utilizada em diferentes contextos mas, usualmente, com o mesmo objetivo de redução de energia elétrica.

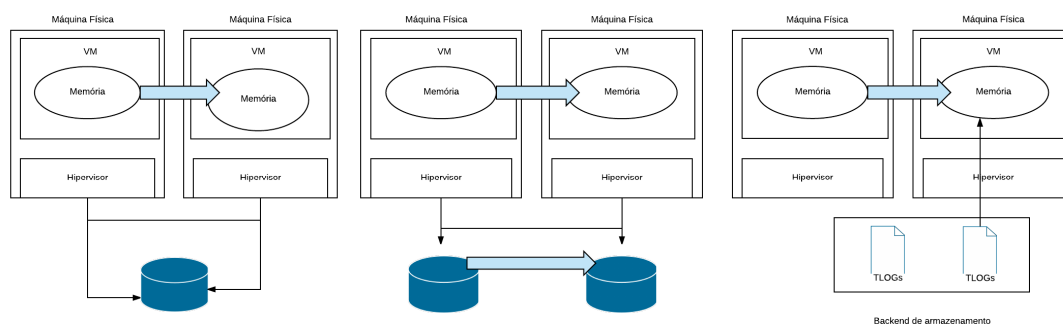


Fig. 2. Tipos de Live-migration

A consolidação de máquinas virtuais é abordada em [17]. As métricas estudadas para análise de energia elétrica foram: (i) taxa de utilização do processador e (ii) de rede. Neste trabalho, as métricas tinham como objetivo analisar a degradação do desempenho da consolidação quando múltiplas máquinas virtuais executam tarefas computacionais pesadas, efeitos secundários do *HTTP Apache Capture*.

Destacaram possíveis limitações do sistema que podem vincular o SLA (*Service Level Agreement - Acordo de Nível de Serviço*) estabelecido com diferentes índices de consolidação (de 1 à 5 máquinas virtuais) e, de acordo com os tipos de serviços, iniciando com o limite do processador para finalizar com ligação à rede. A discussão gerada é como a consolidação do servidor afeta o desempenho de serviços únicos e o papel dos SLAs no processo de decisão.

Com o objetivo de monitorar um *data center* e implementar a consolidação de máquinas virtuais, em [18] foi apresentado uma estrutura extensível para o CloudStack, que fornece aos administradores os benefícios da consolidação. Foi separado o mecanismo de consolidação de máquinas virtuais do SLA, sendo as máquinas virtuais movidas para outro lugar para serem executadas corretamente. A estrutura proposta permite que aplicativos da Web executem vários *Packing Algorithms* de máquina virtual em cima dele. Porém, a estrutura não coleta dados de consumo de energia, consequentemente, não permitindo analisar o impacto gerado por essas migrações.

Por fim, as literaturas encontradas abordam diversos aspectos distintos da consolidação. Porém, não apresentam resultados sólidos relevantes para análise de consumo associado a consolidação, justificando a oportunidade deste trabalho na análise do consumo energético das migrações, que é base para consolidação de *data centers*.

III. AMBIENTE DE TESTES

O LabP2D (Laboratório de Processamento Paralelo Distribuído) da UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina) é um laboratório aberto para pesquisas dos alunos da universidade e comunidade, conta com o serviço de nuvem IaaS (Infraestrutura como Serviço) [20]. O ambiente de testes utilizado para os processos de migrações e coleta de energética é a nuvem Barriga Verde, privada, que foi instalada no LabP2D e gerenciada pelo OpenStack na versão Newton. A Figura 3 representa a arquitetura da Barriga Verde, que é composta por 4 máquinas físicas com 4 núcleos AMD Phenom II X4 B93 2,8GHz, 4GB RAM, disco de 500GB (7200 rpm) e rede à 100Mbps.

E. Benchmark

Para a realização de testes é utilizado o Rally, um software de *benchmarking* para OpenStack, que automatiza e unifica a implantação do OpenStack de vários nós. O Rally (<https://wiki.openstack.org/wiki/Rally>) é responsável pelas execuções das migrações que é utilizada na obtenção dos resultados.

As métricas utilizadas na pesquisa consideram a média de tempo de execução das migrações em segundos e a média do consumo de energia elétrica em Watts. Para a coleta de dados dos cenários, é definido uma amostra de tamanho 20 de cada conjunto de migrações do tipo *Live-migration* e *Cold-migration* em cada cenário de teste, sendo analisados os valores de média plotados em gráficos de barras. Todos os nós de gerenciamento estão previamente ativados.

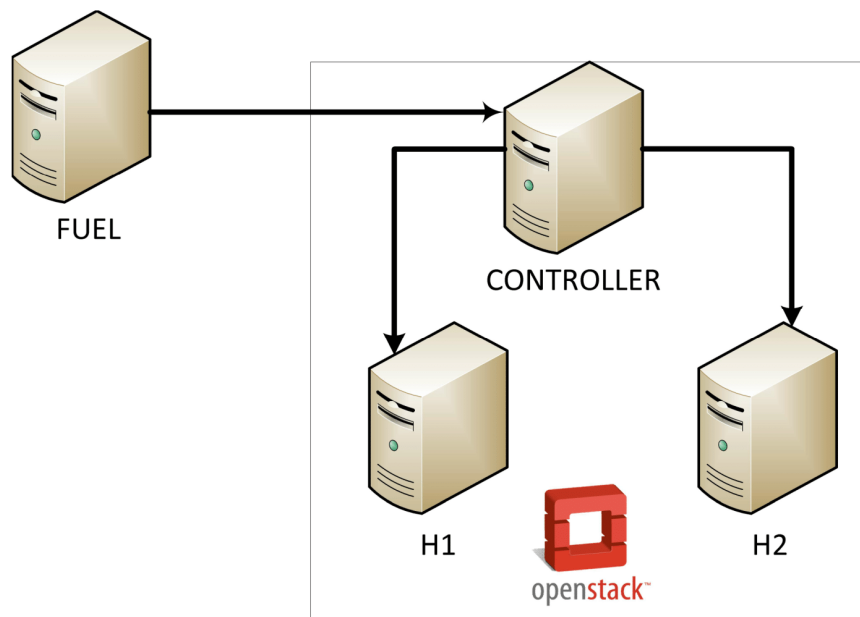


Fig. 3. Nuvem Barriga Verde

F. Cenário de Testes

O cenário de teste tem como objetivo observar as operações básicas da migração, analisando o consumo energético em Watts das três fases em comum das migrações do tipo *Live-migration* e *Cold-migration*:

- **nova.boot.server:** Nesta fase a máquina virtual é iniciada com suas configurações básicas.
- **nova.migrate:** Esta etapa é responsável por identificar o par de comunicação, a máquina física origem e a máquina física de destino, e, em seguida, realizar o processo de migração.
- **nova.delete.server:** Fase responsável por excluir a máquina virtual construída, liberando o espaço previamente utilizado.

Observa-se que em ambas as fases, o componente Nova do OpenStack é o responsável pelos comandos. Esses comandos foram configurados para os cenários no Rally, *benchmarking* para OpenStack. As operações de iniciar, migrar e excluir as máquinas virtuais são realizadas 20 vezes. Em cada fase, coleta-se as informações do tempo de execução, em segundos, e o consumo energético, em Watts. Cada máquina está conectada a um medidor de energia (*WattsUp Pro ES*) a fim de monitorar o consumo de energia em Watts.

IV. RESULTADOS

Com a realização dos testes, deseja-se encontrar os critérios necessários para definir o impacto do consumo energético, identificando o consumo de cada etapa da migração de uma máquina virtual, considerando o uso de seus recursos internos.

Por fim, é definido como resultados esperados, conhecer o impacto do consumo de energia para cada tipo de migração, considerando todos os recursos de todas as máquinas físicas envolvidas para que a ação de migração seja concluída. Obter o tempo de cada fase em que uma máquina virtual deve executar sequencialmente entre as máquinas físicas de origem e destino até terminar a migração. Verificar se há algum tempo de indisponibilidade causado por cada tipo de fase de migração, com precisão adequada, considerando os recursos em uso pela máquina virtual. Além das métricas de tempo e consumo de energia elétrica.

A Figura 4 refere-se à média do consumo de Watts. Pode-se observar no eixo y, o consumo energético medido em Watts, e no eixo x, as fases e os tipos de migrações testadas, *Live-migration* e *Cold-migration*. As máquinas virtuais são instanciadas e começam sua execução na fase nova.boot.server. São deslocadas de uma máquina física para outra máquina física na fase nova.migrate.server, responsável pela execução dos comandos de migração. Finalmente, as máquinas virtuais são removidas na fase nova.delete.server.

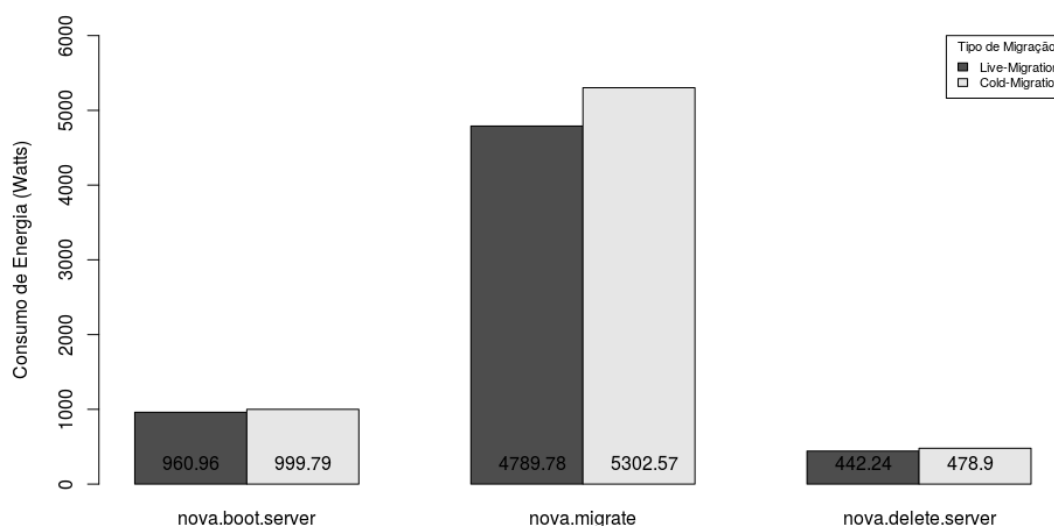


Fig. 4. Gráfico do consumo médio de Watts nas migrações Live e Cold

Observando-se os resultados obtidos, pode-se afirmar que o tipo de migração *Live-migration* consome menos energia que a migração *Cold-migration*, em todas as fases. A menor diferença está na fase nova.boot.server, 3,88%, seguida pela fase nova.delete.server, 7,65%, finalizando pela fase nova.migration, com 9,67%. As fases de nova.boot.server e nova.delete.server são parte de todo processo de alocação de máquina virtuais.

Porém, a fase nova.migration é específica da migração e destaca-se pelo alto consumo de energia, observado na Figura 4. Se comparada com as duas outras fases, ela atinge ~ 72% mais de consumo do que as duas outras fases somadas, no pior caso (*Cold-migration*). Este fato pode ser explicado exatamente pela natureza da fase, que transfere o ambiente completo virtualizado saturando as estruturas de rede e de processamento. Observa-se também que durante a execução dos testes nenhuma das

fases da migração, tanto *Live-migration* quanto *Cold-migration* relataram erros, garantindo estabilidade nos métodos utilizados.

V. CONCLUSÃO

O consumo de energia elétrica é um fator essencial na gerência de recursos em nuvens computacionais. A consolidação de máquinas virtuais é uma técnica amplamente utilizada no contexto de gerenciamento de recursos em nuvem, muitos fornecedores de serviço de nuvem buscam a consolidação com o objetivo de economizar energia elétrica.

Para consolidar, muitas vezes, é necessário efetuar a migração de máquinas virtuais, otimizando o espaço de armazenamento de máquinas físicas. No entanto, a decisão de consolidar e, conseqüente, consumo extra de energia elétrica dispensado a migração de máquinas virtuais, não é, normalmente, levado em conta no processo. Este trabalho que tem como objetivo analisar o impacto da migração de máquinas virtuais, apresentou resultados preliminares sobre o impacto dessa técnica de migração no consumo de energia elétrica de uma nuvem computacional gerenciada com OpenStack.

Estes resultados demonstram que o consumo energético da fase de nova.migration não é desprezível, e deve ser levado em consideração pelos *data centers*. Os resultados desta pesquisa devem ser úteis em discussões referentes à tomada de decisão e escolha de técnicas utilizados na migração de máquinas virtuais que tenham como objetivo a redução de energia elétrica utilizando consolidação de máquinas virtuais em um *data center* com OpenStack.

VI. TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros pretende-se adicionar cargas de processamentos nas máquinas virtuais, analisando o consumo energético, de forma a separar o consumo de recursos como CPU, disco, rede e I/O.

Outra ideia é a possibilidade de adicionar mais cenários que trabalhem com múltiplas máquinas virtuais, realizando migrações simultâneas, por exemplo, tendo a partir de duas máquinas virtuais concorrentes. O consumo energético em Watts de cada recurso utilizado pelas máquinas virtuais é analisado, com o objetivo de relatar possíveis erros e identificar o menor consumo energético, entre a migração sequencial e a simultânea.

REFERENCES

- [1] Koomey, Jonathan G. “Worldwide electricity used in data centers.” Em *Environmental research letters* 3.3 2008, 034008.
- [2] Ozturk, Ahmet, et al. “Green ICT (Information and Communication Technologies): a review of academic and practitioner perspectives.” Em *International Journal of eBusiness and eGovernment Studies* 3.1, 2011,1-16.
- [3] Hinz, Mauro, et al. “Um Modelo de Custo para Nuvens IaaS baseado no Consumo de Energia de Máquinas Virtuais.” em *XII Brazilian Symposium on Information Systems*, Florianópolis, SC, 2016.
- [4] Chen, Gong, et al. “Energy-Aware Server Provisioning and Load Dispatching for Connection-Intensive Internet Services.” em *NSDI*, 2008, Vol. 8.

- [5] Speitkamp, Benjamin, e Martin Bichler. "A mathematical programming approach for server consolidation problems in virtualized data centers." em *IEEE Transactions on services computing* 3.4, 2010, 266-278.
- [6] VMware. (2017). Virtual Machine Migration [Online]. Disponível em: <https://pubs.vmware.com>.
- [7] Merkel, Dirk. "Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment." Em *Linux Journal* 2014.239, 2014, 2.
- [8] Junior, Euclides Cardoso, Charles Christian Miers, and Guilherme Piegas Koslovski. "Uma taxonomia para corretagem de nuvens IaaS baseada na migração de infraestruturas virtuais." em *Revista Brasileira de Computação Aplicada* 9.1, 2017, 15-30.
- [9] OpenStack. (2017). OpenStack Cloud [Online]. Disponível em: <http://www.openstack.org>.
- [10] Hat, Red. (2017). Libvirt: The virtualization API [Online]. Disponível em: <https://libvirt.org>.
- [11] Nova, OpenStack. (2017). OpenStack Compute (nova) [Online]. Disponível em: <https://wiki.openstack.org/wiki/Nova>.
- [12] Swift, OpenStack. (2017). OpenStack Object Storage (Swift) [Online]. Disponível em: <https://wiki.openstack.org/wiki/Swift>.
- [13] Cinder, OpenStack. (2017). CINDER Block Storage [Online]. Disponível em: <https://www.openstack.org/software/releases/ocata/components/cinder>.
- [14] Zhang, X., S. Gaddam, e A. T. Chronopoulos. "Ceph distributed filesystem benchmarks on an openstack cloud." Em *Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM)*, 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015.
- [15] Magalhães, Deborah V., José Marques Soares, and Danielo G. Gomes. "Análise do impacto de migração de máquinas virtuais em ambiente computacional virtualizado." Em *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS* 29, 2011, 235-248.
- [16] Clark, Christopher, et al. "Live migration of virtual machines." Em *Proceedings of the 2nd Conference on Symposium on Networked Systems Design & Implementation-Volume 2*. USENIX Association, 2005.
- [17] Corradi, Antonio, Mario Fanelli, e Luca Foschini. "VM consolidation: A real case based on OpenStack Cloud." em *Future Generation Computer Systems* 32, 2014, 118-127.
- [18] Janpan, Tanasak, Vasaka Visoottiviseth, e Ryousei Takano. "A virtual machine consolidation framework for CloudStack platforms." em *Information Networking (ICOIN)*, 2014 International Conference on. IEEE, 2014.
- [19] Mell, Peter, and Tim Grance. "The NIST definition of cloud computing.", 2011.
- [20] LabP2D. (2017). Laboratório de Processamento Paralelo e Distribuído [Online]. Disponível em: <http://web-labp2d.rhcloud.com>.

- [21] Gartner Estimates ICT Industry Accounts for 2 Percent of Global CO2 Emissions. Disponível em: <http://www.gartner.com/page.jsp?id=503867>, 2011.
- [22] Gartner Says Energy-Related Costs Account for Approximately 12% of Overall Data Center Expenditures. Disponível em: <http://www.gartner.com/page.jsp?id=1442113>, 2011.
- [23] Alshahrani, Hani, et al. "Live Migration of Virtual Machine in Cloud: Survey of Issues and Solutions." em Proceedings of the International Conference on Security and Management (SAM). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2016.
- [24] Ferdaus, Md Hasanul, et al. "Virtual machine consolidation in cloud datacenters using ACO metaheuristic." Em European Conference on Parallel Processing. Springer, Cham, 2014.
- [25] Buyya, Rajkumar, et al. "Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility." Em Future Generation computer systems 25.6, 2009, 599-616.
- [26] Awada, Uchechukwu, e Adam Barker. "Improving resource efficiency of container-instance clusters on clouds." em Proceedings of the 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing. IEEE Press, 2017.
- [27] Ahmad, Raja Wasim, et al. "A survey on virtual machine migration and server consolidation frameworks for cloud data centers." em Journal of Network and Computer Applications 52, 2015, 11-25.
- [28] Vakilinia, Shahin, Behdad Heidarpour, e Mohamed Cheriet. "Energy Efficient Resource Allocation in Cloud Computing Environments." Em IEEE Access 4, 2016, 8544-8557.
- [29] Piraghaj, Sareh Fotuhi, et al. "A framework e algorithm for energy efficient container consolidation in cloud data centers." em Data Science and Data Intensive Systems (DSDIS), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015.
- [30] Graubner, Pablo, Matthias Schmidt, e Bernd Freisleben. "Energy-efficient virtual machine consolidation." em It Professional 15.2, 2013, 28-34.
- [31] Pérez-Lombard, Luis, José Ortiz, e Christine Pout. "A review on buildings energy consumption information." Em Energy and buildings 40.3, 2008, 394-398.
- [32] Lin, Ching-Chi, Pangfeng Liu, e Jan-Jan Wu. "Energy-aware virtual machine dynamic provision and scheduling for cloud computing." Em Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference on IEEE, 2011.