

Uma Abordagem para Simulação e Avaliação na Redução do Consumo de Energia em Ambientes Computacionais Virtualizados baseada em Redes de Petri Colorida

Mauro G. Albuquerque¹, Denisângelo de M. Rabelo¹, José Marques Soares¹

¹Departamento de Teleinformática – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Campus do PICI, S/Nº, Bloco 725 – Fortaleza – CE – Brasil.

{maurogadelhaa,denisangelo.rabelo}@gmail.com,marques@ufc.br

Abstract. *This paper is contextualized in the modeling and simulation strategies for reducing energy consumption in virtualized computing environments by migration and consolidation of virtual machines. To demonstrate the scalability that can be offered by a Colored Petri net in that context, was modeled an algorithm was implemented and evaluated in a real testbed. Simulated results were compared to the testbed experiments, and presented similar results. Simulations with larger numbers of machines showed that the results remain consistent, allowing you to check the scalability provided by the simulation environment.*

Resumo. *Este trabalho é contextualizado na modelagem e simulação de estratégias para redução do consumo de energia em ambientes computacionais virtualizados pela migração e consolidação de máquinas virtuais. Para demonstrar a escalabilidade que pode ser oferecida por uma rede de Petri Colorida no referido contexto, foi modelado um algoritmo que havia sido implementado e avaliado em um testbed real. Resultados simulados foram comparados aos experimentos realizados no testbed, tendo apresentado resultados semelhantes. Simulações com números maiores de máquinas mostraram que os resultados continuam coerentes, permitindo verificar a escalabilidade oferecida pelo ambiente de simulação.*

1. Introdução

Em expansão no mundo todo, os centros de dados são o componente responsável de crescente consumo de energia elétrica e também pela emissão de carbono (CO₂) contribuindo para o aquecimento global na visão de [Dietrich et al., 2007] e [Massanet et al., 2011]. Muitas são as iniciativas para encontrar formas de tornar estes centros de dados mais verdes. [Dietrich et al., 2007] descrevem que, entre elas, estão o uso de energias renováveis, novos sistemas de resfriamentos, sistemas de armazenamento de calor e sistemas de suprimentos de ar e, em especial, fazer com que as aplicações consumam menos energia.

Outra abordagem, não tão menos importante nesse espectro de soluções verdes, é a virtualização, seja ela de serviços, aplicativos ou de servidores. Em se tratando de virtualização de servidores, [Shuja et al., 2012] descrevem que esta se apresenta como técnica que permite o compartilhamento de um servidor físico entre várias máquinas virtuais, onde cada máquina virtual pode servir diferentes aplicações. Os recursos de CPU e memória podem ser dinamicamente provisionado para uma máquina virtual de acordo com as exigências atuais de desempenho, o que, portanto, se encaixa nos requisitos necessários a se obter eficiência energética, sendo esta técnica a mais adotada

para o gerenciamento de energia e alocação de recursos pelos operadores dos centros de dados.

Muito embora a virtualização seja uma técnica amplamente adotada para o gerenciamento de eficiência energética, a avaliação de algoritmos propostos para a redução de consumo de energia via migração e consolidação de máquinas virtuais pode ser de difícil implementação em ambientes reais, principalmente em cenários de larga escala. Assim como em outros contextos tecnológicos, técnicas de modelagem e simulação podem ser usadas para auxiliar no desenvolvimento de soluções propostas, fornecendo um ambiente capaz não só de assimilar eventuais mudanças de projeto, mas de avaliá-lo em cenários escaláveis sem a necessidade de reconfigurar múltiplos recursos físicos.

Neste trabalho é proposta a utilização de Redes de Petri Coloridas (RPC) [Jensen, 2009] para a construção e simulação de modelos capazes de representar projetos que visem a redução do consumo de energia em *data centers*. Para validar esta proposição, foi modelada uma estratégia de migração dinâmica de máquinas virtuais para economia de energia em ambientes computacionais virtualizados desenvolvida por [Magalhães, 2012]. O objetivo é, inicialmente, reproduzir, através de simulação com a RPC, os resultados dos testes realizados pela autora com um *testbed* composto por quatro máquinas físicas. Adicionalmente, simular o algoritmo em ambientes configurados com um número maior de máquinas, de maneira a poder avaliar o comportamento do algoritmo em cenários mais próximos aos encontrados em situações reais.

Este documento está organizado da seguinte maneira: após a introdução realizada nesta seção, os trabalhos relacionados são apresentados na seção 2; Na seção 3 é realizada uma breve descrição dos aspectos do modelo desenvolvido em RPC além da apresentação da metodologia de avaliação e cenários de simulação utilizados; Na seção 4 são expostos os resultados da simulação e; finalmente, as conclusões e trabalhos futuros encontram-se na seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

A eficiência energética tem sido alvo de grande atenção por parte da indústria e também da comunidade de pesquisa, principalmente no que concerne a aplicações em ambientes computacionais virtualizados, onde muitas técnicas são e estão sendo desenvolvidas e testadas. Em [Beloglazov, 2013] esta temática é descrita em abordagens relacionadas ao gerenciamento eficiente de energia de máquinas virtuais em *data centers* para a nuvem através de métodos de consolidação e distribuição sem quebra de SLA (*Service Level Agreement*), apresentando uma taxonomia para o gerenciamento eficiente de energia em sistemas computacionais. [Adargna et al., 2012] retratam a questão da alocação dos recursos em sistemas virtualizados com múltiplas camadas como um problema de programação não linear NP-difícil em que a solução pode ser encontrada através de busca local. [Casalicchio et al., 2012] descrevem uma solução arquitetônica para o provisionamento de serviços autônomos em *cloud computing* com planejamento de políticas. [Kansal et al., 2012] apresentam algumas técnicas utilizadas para o balanceamento de cargas em *cloud computing*, incluindo máquina virtual. Já [Shenai et al., 2012] relacionam alguns algoritmos de escalonamento em *cloud*. Outras abordagens analisam e procuram otimizar a energia do ambiente computacional através de testes e

análises realizadas por meio de modelos analíticos, como em [Anselmi et al., 2011], [Chaisiri et al., 2012] e através de monitoramento como em [Katsaros et al., 2012] e em [Vasić et al., 2012]. Nesse contexto nossa proposta se apresenta como uma abordagem para simulação e avaliação de cenários em ambientes computacionais virtualizados com foco em eficiência energética por meio das redes de petri colorida, onde é possível realizar, testar e validar políticas de escalonamento e balanceamento de carga bem como métodos de consolidação e distribuição de máquinas virtuais dinamicamente.

3. Modelagem, Metodologia de Avaliação e Cenários de Simulação

As Redes de Petri são representadas por um grafo contendo conjuntos distintos de nós. Os nós são denominados **lugares**, representados por elipses que armazenam fichas, e **transições**, representados por retângulos, e um conjunto de **arcos**, representados por segmentos de retas orientados que ligam lugares a transições e transições a lugares. Os lugares conectados a uma transição no sentido lugar-transição são denominados lugares de entrada daquela transição. Os lugares conectados a uma transição no sentido transição-lugar são denominados lugares de saída. Os arcos possuem pesos associados e indicam a quantidade de fichas que serão inseridas nos lugares ou removidas dos lugares aos quais estão conectados, segundo a orientação do arco.

A dinâmica de um sistema é modelada pela geração ou eliminação de fichas na rede. A marcação (números de fichas armazenadas nos lugares) define um estado da RP. A mudança de estado corresponde a uma evolução da marcação, o que se produz pelo disparo das transições. Uma transição é dita habilitada ou sensibilizada se cada um de seus lugares de entrada contém um número de fichas maior ou igual ao peso do arco que o conecta à transição. Uma transição habilitada pode ou não disparar, mas, ao disparar, fichas são removidas de cada lugar de entrada da transição disparada e fichas são acrescentadas aos seus lugares de saída. A quantidade de fichas removidas e acrescentadas depende do peso dos arcos que conectam os nós da rede.

Nas Rede de Petri Lugar-Transição, as fichas não possuem tipo específico. Para expandir o poder de representação desta ferramenta, foram concebidas as chamadas Redes de Petri de Alto Nível, como as Redes de Petri Coloridas, que tornam os modelos menores e de mais fácil visualização e análise. Em uma RPC, as fichas armazenadas em lugares recebem um tipo de dado chamado cor, podendo representar estruturas mais complexas, como listas e registros. Uma linguagem de programação foi integrada às RPCs, permitindo customizar o controle dos disparos das transições, realizar operações nas informações das fichas removidas e atuar na geração de informações dos lugares de entrada. A rede pode ser hierarquizada em sub-redes, potencializando a segmentação e a contextualização de partes da estrutura global da rede como um todo.

3.1. O Modelo em Rede de Petri Colorida

O algoritmo de monitoração e de mitigação, desenvolvido por [Magalhães, 2012]¹ para o alcance da eficiência energética em migrações de máquina virtual em *cloud computing*, foi modelado em RPC com utilização da ferramenta *CPN Tools* [Tools, 2009], que permite a execução de simulações e coleta de dados a partir da inserção de

¹ Disponível em https://macc.lncc.br/restrito/admin/pdf/dissertacao_deborah_30mar1221-05-2013-141710.pdf

monitores, sendo estes utilizados para inspecionar o disparo de transições durante a simulação. A rede principal representa o fluxo do algoritmo é apresentada na Figura 1, em que verifica-se as duas principais operações: a classificação de servidores e a mitigação, modeladas respectivamente pelas transições de substituição “Classifica Hosts” e “Executa Migração”.

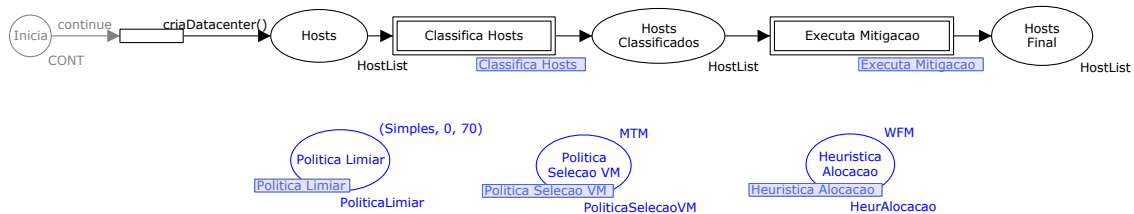


Figura 1. Rede Principal

Uma transição de substituição abstrai todo o processamento realizado por uma sub-rede, permitindo a hierarquização do modelo. Lugares de fusão, que são elementos que podem aparecer em diferentes sub-redes da hierarquia, foram utilizados para as heurísticas de alocação, políticas de limiar e políticas de seleção de máquinas virtuais, podendo ser vistas na parte inferior da Figura 1.

A sub-rede que representa a classificação dos servidores em sobrecarregado, ocioso ou normal, conforme política de limiar é vista na Figura 2. A classificação dos servidores ocorre pela ativação das transições *Classifica como Sobrecarregado* e *Classifica como Ocioso*, alimentando o lugar do tipo *CONT* e habilitando as transições que concluem a classificação. Os hosts classificados são, em seguida, colocados num lugar de fusão chamado *Data Center*, destacados com linha de contorno mais espessa, com o objetivo de centralizar no modelo o acesso aos servidores durante as simulações e ainda permitir que qualquer mudança em algum deles seja refletida em toda a rede.

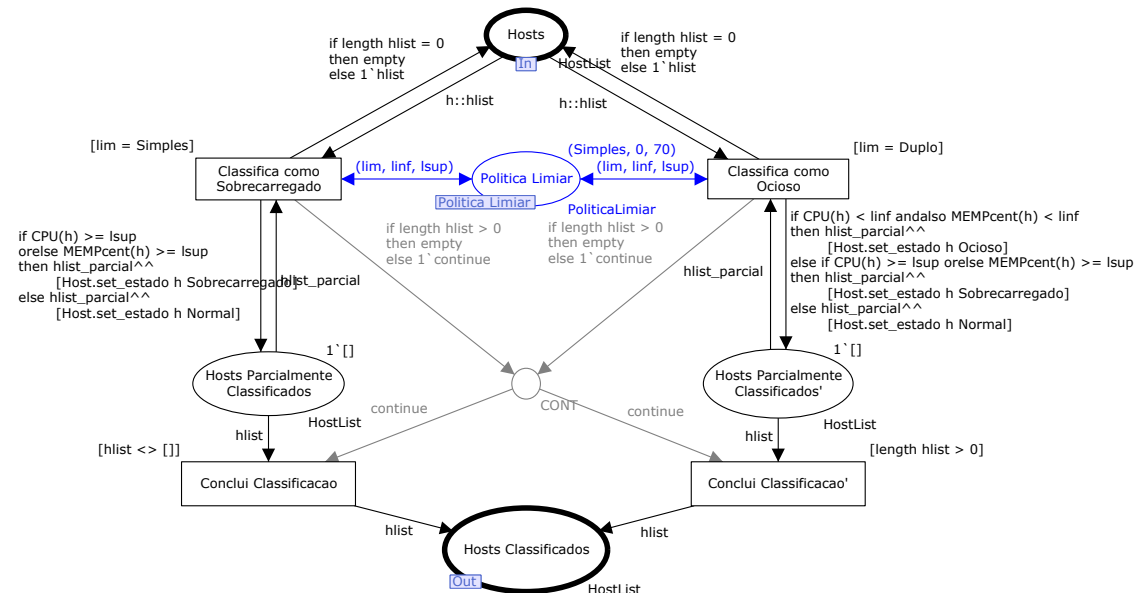


Figura 2. Sub-rede de classificação de servidores

Após a classificação dos servidores, e uma vez identificada a necessidade de ajustes no mapeamento de máquinas virtuais em servidores físicos, o algoritmo de monitoramento invoca o algoritmo de mitigação, modelado conforme a sub-rede exposta na Figura 3.

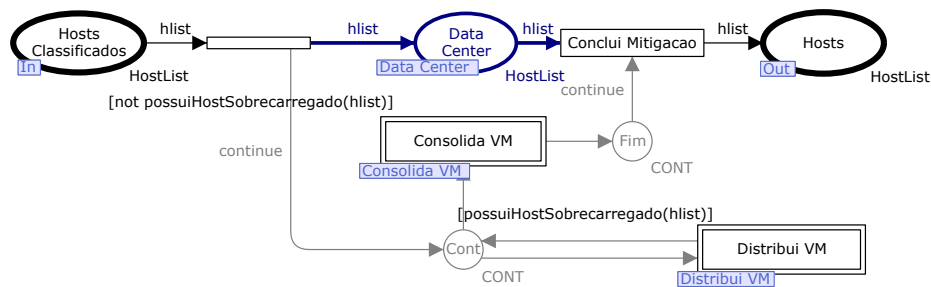


Figura 3. Sub-rede de mitigação

O algoritmo de mitigação é responsável por dissipar os pontos de ócio e/ou sobrecarga do sistema através da migração de máquinas virtuais entre servidores distintos, conforme a variação de demanda por recursos. Para isso, são realizados dois procedimentos: o de consolidação das máquinas virtuais (Figura 4), caso os servidores estejam ociosos, subutilizados ou em estado normal, e o de distribuição de máquinas virtuais (Figura 5), caso contrário.

No processo de consolidação, mostrado na Figura 4, os servidores são ordenados de acordo com a heurística escolhida e separados nas listas de origem e destino, em função da política de limiar e então iterados sobre os servidores de origem e de destinos na tentativa de realocar as máquinas virtuais e encontrar um novo mapeamento de migrações e caso seja possível desligar o servidor, o estado do *Data Center* é atualizado e o servidor é removido da lista de possíveis destinos.

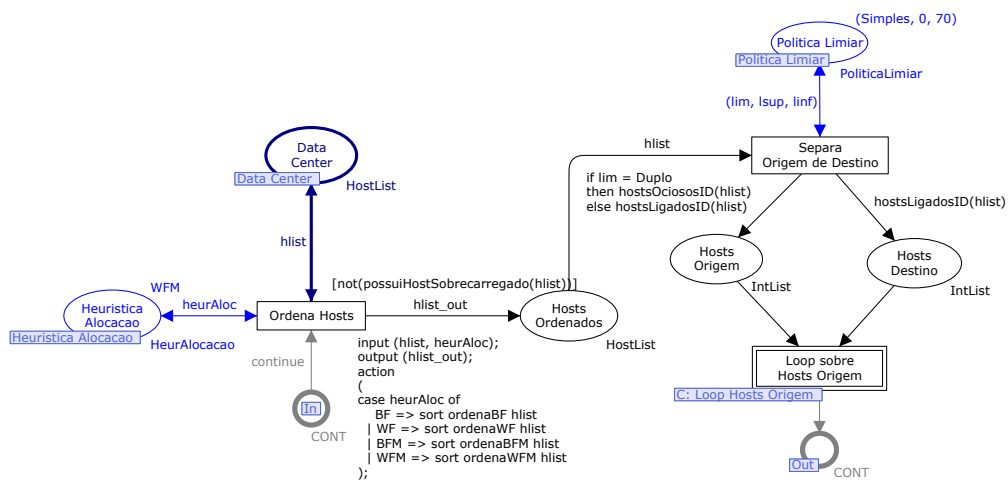


Figura 4. Sub-rede de consolidação

Após a conclusão da modelagem da consolidação, ocorre o processo de distribuição, responsável por dissipar sobrecargas no *Data Center*, onde é feita a ordenação dos servidores de origem em ordem decrescente de volume de carga e aplicada a heurística para distribuição de carga. Se a sobrecarga não for dissipada, é feita uma nova tentativa com o uso dos servidores desligados na lista de destino. Caso nada mais possa ser feito para distribuir a carga, o algoritmo é interrompido.

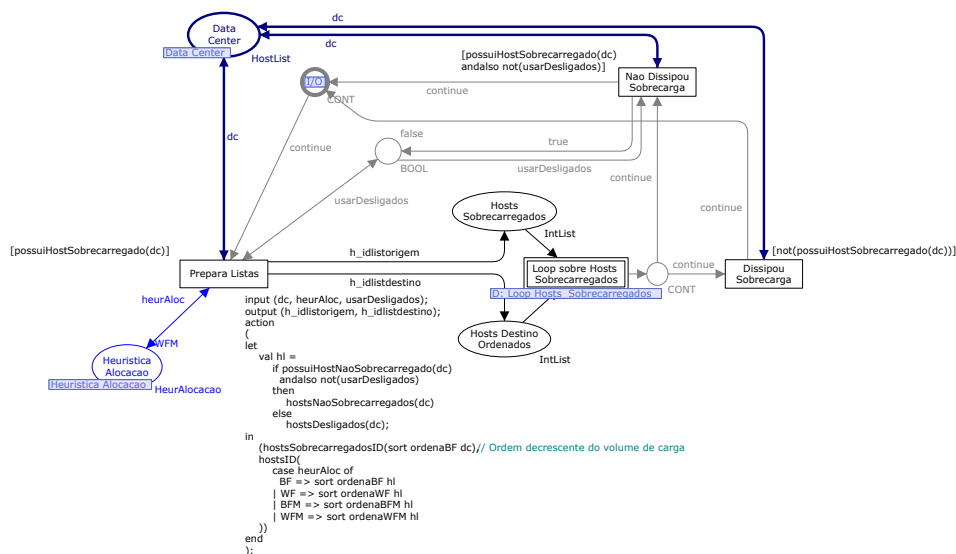


Figura 5. Sub-rede de distribuição

3.2. Métricas, Parâmetros, Fatores e Carga de Trabalho

Para a avaliação das simulações, foram utilizadas as mesmas métricas descritas por [Magalhães, 2012] em seu experimento baseado no uso de um testbed com quatro computadores: utilização de CPU; utilização de memória; número de migrações; percentual de utilização de recursos abaixo do limiar; e energia consumida.

Os parâmetros utilizados foram: quantidade de servidores, quantidades de máquinas virtuais, política de limiar, política de seleção de máquinas virtuais e heurística de alocação.

Os fatores dimensionados para a simulação são: quantidade de servidores, quantidade de máquinas virtuais; política de limiar [Limiar Simples (LS), Limiar Duplo (LD)], política de seleção de máquinas virtuais [Menor Volume de Carga (MVC) e Menor Tempo de Migração (MTM)] e heurística de alocação [*Worst-Fit* (WF), *Best-Fit* (BF), *Worst-Fit Modified* (WFM), *Best-Fit Modified* (BFM)]. Neste trabalho, para demonstrar a escalabilidade da solução para simulação em diferentes cenários, foram executadas simulações com 10, 20, 50 e 100 servidores, com 26, 60 e 133 máquinas virtuais, além das variações dos limiares, políticas e heurísticas, conforme descrito.

De forma a conduzir a avaliação do consumo de energia no processo de simulação do ambiente modelado, foi construída a sub-rede Gerador de Data Center, apresentada na Figura 6, que produz listas de servidores com parâmetros variáveis. Os parâmetros, como, por exemplo, os valores de memória total e frequência de CPU dos servidores e memória alocada para as máquinas virtuais, foram obtidos através de tabelas de *benchmarks* publicadas em site especializado².

² <http://www.memorybenchmark.net/>
<http://www.cpubenchmark.net/>

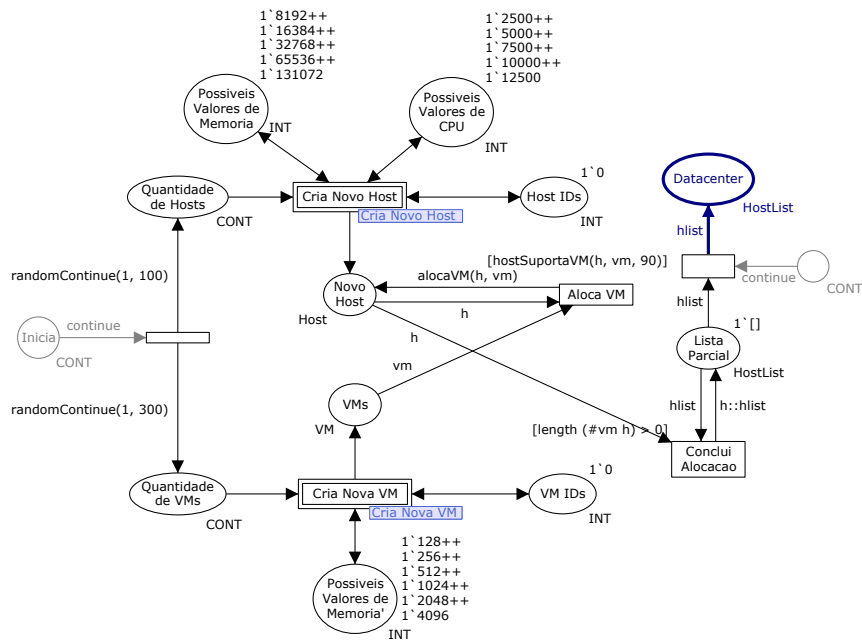


Figura 6. Gerador de data center

Para as propriedades de valores numéricos dos servidores, como valores de potência máxima consumida e de fração de potência consumida quando ocioso, foram utilizadas funções de distribuição aleatória do *CPN Tools*. Quanto aos valores de utilização de memória e de CPU, e também as quantidades de servidores e máquinas virtuais, utilizou-se a distribuição uniforme da ferramenta.

Cada máquina virtual é criada em cada servidor obedecendo ao *Service-Level Agreement* (SLA) definido para simulação e modelado através da função de guarda $[hostSuportaVM(h, vm, SLA)]$ na transição *Aloca VM*. No exemplo da Figura 6, o ambiente é montado com nível de SLA 90%, ou seja, todos os servidores terão capacidade de provisionamento de 90%.

3.3. Cenários de simulação

Os cenários utilizados na simulação do modelo em RPC foram definidos da seguinte forma:

1. Validação do modelo quanto aos experimentos realizado em [Magalhães, 2012], especificamente o primeiro experimento de validação da estratégia.
2. Análise da eficiência energética em função das heurísticas de alocação no processo de consolidação para ambiente com 100 servidores.
3. Análise da eficiência energética em função das políticas de seleção de máquinas virtuais para distribuição em ambiente com 100 servidores.
4. Análise de eficiência energética das políticas de alocação combinada com a política de limiar simples nos cenários com 10, 20, 50 e 100 servidores.

4. Exposição e Análise dos Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir das simulações do modelo através do *CPN Tools*. A aquisição dos resultados se deu através de monitores *write-in-file*, usados para atualizar arquivos durante as simulações.

Foram criados dois monitores *write-in-file*, para monitorar os lugares *Hosts* Classificados e *Hosts* Final, arquivos estes que contém os dados dos servidores após a classificação e após a mitigação respectivamente.

4.1. Teste de validação do modelo#1

A simulação do modelo foi validada através de uma comparação com os experimentos realizados em medições reais em [Magalhães, 2012], especificamente, para o teste de validação#1.

As Tabelas 1 e 2 apresentam respectivamente a declaração das máquinas virtuais, com os mesmo parâmetros do experimento e a declaração dos três servidores usados no ambiente real. Todos os elementos foram identificados com os mesmos nomes do trabalho original.

Tabela 1. Declaração de Máquinas Virtuais

Nome	Nome Virtual	Id	% CPU	Memória (MB)	%Memória
xcp-vm-debian32-256-01	vmdebian256_C1	1	9	256	14
xcp-vm-debian32-256-02	vmdebian256_C2	2	17	256	13

Este teste consistiu em validar o comportamento do modelo em relação ao algoritmo de mitigação e da política de limiar simples fixada em 80% e heurística de alocação WFM. Após a passagem pela classificação, o monitor apresentou como resultado os valores da Tabela 3.

Tabela 2. Declaração dos Servidores

Nome	Id	Estado	CPU (Mhz)	% CPU	Memória (MB)	% Memória	Potência Máxima	VM alocada
xcp-resource01	1	Normal	2000	0	1500	25	5188	-----
xcp-resource02	2	Normal	2500	0	2000	18	5666	vmdebian256_C1
xcp-resource03	3	Normal	1800	8	2000	18	5333	vmdebian256_C2

Como nenhum dos servidores possui percentual de utilização de CPU e de memória acima de 80%, todos foram classificados corretamente como normais (ou não sobrecarregados) e o consumo total de energia foi de 88,54W. Após a passagem pelo segundo monitor (mitigação) foi apresentada a saída conforme a Tabela 4.

Tabela 3. Saída do monitor após a classificação

Datacenter [3]	Consumo= 88.54W			Classificação	VMs	
	CPU%	Memória%			%CPU	%Memória
xcp-resource01	0	25	Normal	-----		
xcp-resource02	9	31	Normal	xcp-vm-debian32-256-01		
				9	14	
xcp-resource03	25	31	Normal	xcp-vm-debian32-256-02		
				17	13	

O resultado após a mitigação, resumido na Tabela 4, mostra que o servidor *xcp-resource01* foi desligado por não hospedar nenhuma máquina virtual e o servidor *xcp-resource02* foi desligado após ter sua máquina virtual, *xcp-vm-debian32-256-01*,

migrada para o servidor *xcp-resource03*, único a permanecer ligado. Além disso, esta estratégia promoveu uma redução de 60% no consumo de energia do ambiente, corroborando com os resultados experimentais. O percentual de utilização de memória do servidor *xcp-resource03*, ao final da simulação, também resultou em valor próximo ao do experimento, entre 40% e 50%.

Tabela 4. Saída do monitor após a mitigação

Datacenter [1]	Consumo= 35.19W				
	CPU%	Memória%	Classificação	VMs	
xcp-resource03	37	44	Normal	xcp-vm-debian32-256-01	
				%CPU	%Memória
				12	14
				xcp-vm-debian32-256-02	
	17	13			
Desligados [2]					
xcp-resource01	0	0	Desligado	-----	-----
xcp-resource02	0	0	Desligado	-----	-----

4.2. Teste de validação em cenários maiores

Cenário #1: Análise da eficiência energética em função das heurísticas de alocação no processo de consolidação para ambiente com 100 servidores. Este cenário teve por objetivo realizar a análise da eficiência energética em função das heurísticas de alocação (WF, BF, WFM e BFM) em relação ao processo de consolidação de 100 servidores com 116 máquinas virtuais ativas com limiar simples e duplo. A política de Limiar Simples foi fixada em 70% e a política de limiar duplo foi fixada em (30%, 80%). O consumo inicial do ambiente após a consolidação foi de 3.550,43W. O resultado após a distribuição é demonstrado na Figura 7.

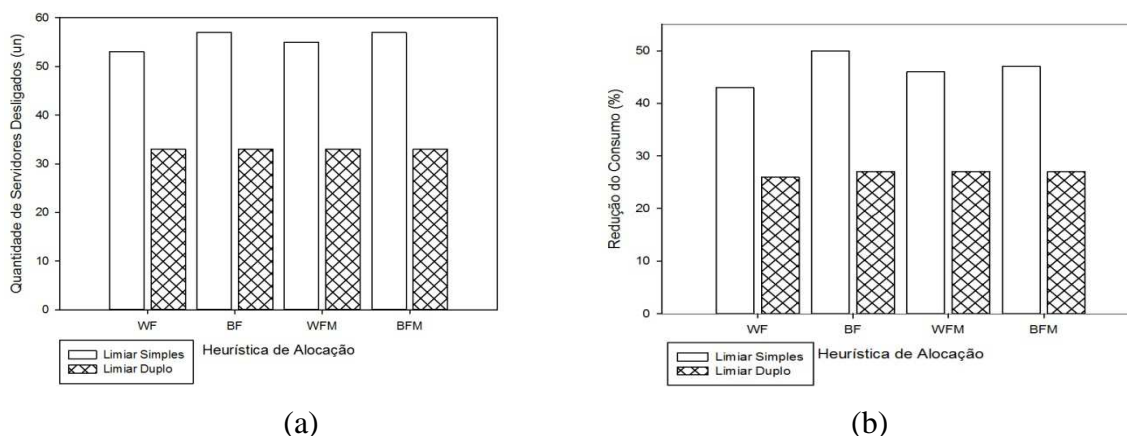


Figura 7. Cenário#1 - Análise da eficiência energética em função das heurísticas de alocação (a) sobre a quantidade de servidores desligados (b) sobre a variação da redução do consumo

A Figura 7 (a) ilustra o comportamento das heurísticas de alocação de máquinas virtuais em função da quantidade de servidores desligados no processo de consolidação. A política de limiar simples obteve os totais de servidores desligados 53, 57, 55 e 57, respectivamente para as heurísticas WF, BF, WFM e BFM, enquanto a política de limiar duplo obteve para as mesmas heurísticas o valor total de 33 servidores desligados. Percebemos, portanto, que para o limiar duplo independe a forma de alocação adotada, pois a mesma leva em consideração o percentual de utilização de CPU e memória que estejam abaixo do limiar inferior, classificando os servidores como ociosos, logo estes são desligados. Na política de limiar simples a consolidação é feita entre todos os

servidores classificados como normais e, portanto haverá maior possibilidade de migração das máquinas virtuais o que é demonstrado pelo maior número de máquinas sendo desligadas de acordo com a heurística adotada na tentativa de economizar mais energia. A Figura 7 (b) retrata a redução do consumo de energia em função das heurísticas. Percebemos que a heurística BF contribuiu para uma redução maior no consumo devido à mesma permitir máquinas virtuais sem se sobrecarregar, gerando assim mais economia para o ambiente simulado. A Tabela 5 demonstra os resultados da simulação para este cenário.

Tabela 5. Resultados de simulação da consolidação para ambiente com 100 servidores

Data Center	Servidores	Consumo Inicial	Redução do Consumo
	100 servidores e 116 VMs	3.550,43W	
Parâmetros	Desligados	Consumo Final	
LS (70%) e WF	53	2018,39W	43%
LS (70%) e BF	57	1848,91W	48%
LS (70%) e WFM	55	1926,70W	46%
LS (70%) e BFM	57	1881,80W	47%
LD (30%, 80%) e WF	33	2612,48W	26%
LD (30%, 80%) e BF	33	2608,82W	27%
LD (30%, 80%) e WFM	33	2609,55W	27%
LD (30%, 80%) e BFM	33	2604,89W	27%

Cenário #2: Análise da eficiência energética em função das políticas de seleção de máquinas virtuais para distribuição em ambiente com 100 servidores. Este cenário teve por objetivo realizar a análise da eficiência energética em função das políticas de seleção de máquinas virtuais (MVC e MTM) em relação ao processo de distribuição de 100 servidores com 133 máquinas virtuais ativas com limiar simples e duplo. A política de limiar simples foi fixada em 70% e a política de limiar duplo foi fixada em (30%, 80%). A heurística de alocação adotada foi a WFM e a BFM. O consumo inicial do ambiente após a consolidação foi de 3.640,68W. O resultado após a distribuição é demonstrado na Figura 8.

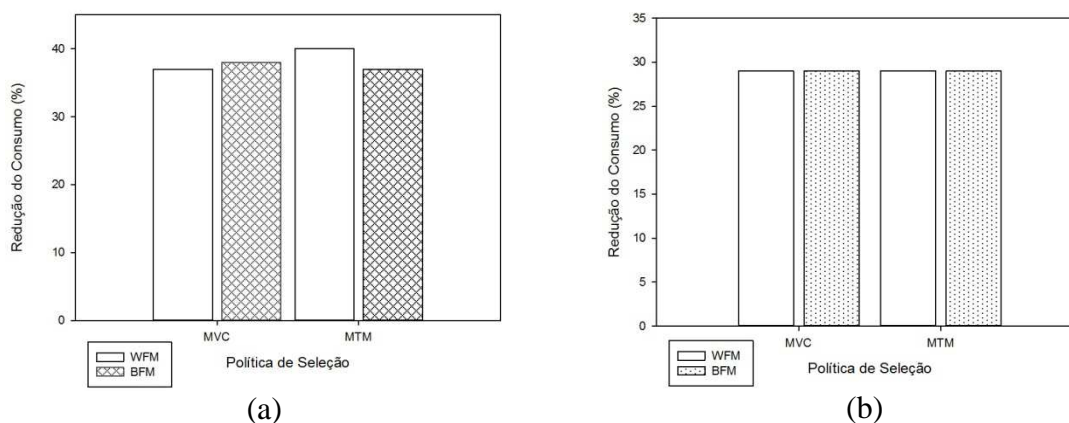


Figura 8. Cenário#2 - Análise da eficiência energética em função das políticas de seleção de máquinas virtuais (a) sobre o limiar simples (b) sobre o limiar duplo

A Figura 8 (a) ilustra a análise da eficiência energética em função das políticas de seleção quando a política de limiar simples é adotada. Percebemos que a política MTM teve um rendimento melhor que a política MVC. Isso é justificado devido ao fato da política de alocação WFM ser adotada, pois nesse caso ela irá alocar a máquina virtual no servidor que apresentar maior capacidade disponível para receber as menores

páginas de memória com menor custo energético. A Figura 8 (b) demonstra o percentual de redução de consumo quando a política de limiar duplo é adotada e pela análise observa-se que o ganho é o mesmo para qualquer uma das formas de distribuição, concluindo que não há impacto da abordagem da política de seleção na estratégia de desligamento, pois os servidores são desligados se estiverem ociosos. A Tabela 6 demonstra os resultados da simulação para este cenário.

Tabela 6. Resultados de simulação da distribuição para ambiente com 100 servidores

Data Center	Servidores	Consumo Inicial	
	100 hosts e 133 VMs 6 sobrecarregados	3640,68 W	
Parâmetros	Desligados	Consumo Final	Redução do Consumo
LS (70%), WFM e MVC	46	2292,40W	37%
LS (70%), WFM e MTM	49	2185,25W	40%
LS (70%), BFM e MVC	48	2257,83W	38%
LS (70%), BFM e MTM	47	2309,00W	37%
LD (30%, 80%), WFM e MVC	37	2568,89W	29%
LD (30%, 80%), WFM e MTM	37	2569,28W	29%
LD (30%, 80%), BFM e MVC	37	2577,21W	29%
LD (30%, 80%), BFM e MTM	37	2580,35W	29%

Cenário #3: Análise de eficiência energética em função do uso das políticas de alocação combinada com a política de limiar simples para os ambientes com 10, 20, 50 e 100 servidores.

A Figura 9 ilustra o percentual de redução de energia em vários cenários testados, para as políticas de alocação combinada com a política de limiar simples fixada em 70%. O resultado demonstra que as políticas WF e WFM tem melhores resultados em ambientes com pouca variabilidade de servidores e máquinas virtuais enquanto que as políticas BF e BFM apresentam melhores resultados em ambientes maiores.

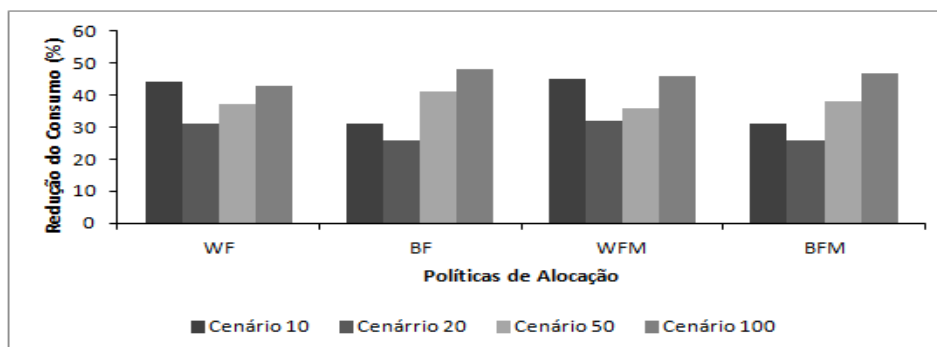


Figura 9. Cenário#3 – Análise da eficiência energética das políticas de alocação em cenários de 10, 20, 50 e 100 servidores

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou a modelagem de uma estratégia de migração de máquinas virtuais em ambiente computacional virtualizado por Redes de Petri Coloridas, cujo objetivo é eficiência energética com dissipação de eventuais sobrecargas.

Os resultados da simulação realizada com o modelo em RPC mostraram coerência com os experimentos em *testbed* tomado como parâmetros para a análise e validação da proposta. Além disso, a variação dos cenários pôde demonstrar a escalabilidade oferecida pelo ambiente de simulação, permitindo a análise da eficiência

do algoritmo em ambientes dimensionados com um número maior de servidores e de máquinas virtuais.

Como trabalhos futuros, tem-se como desafio tornar o modelo uma rede temporizada, de modo a permitir a realização de uma análise mais profunda do desempenho dos algoritmos e uma comparação mais embasada em combinações de heurística de alocação, políticas de limiar e políticas de seleção de máquinas virtuais. Dessa maneira, será possível verificar quais combinações constituem a configuração mais rápida e qual o impacto dessas combinações na eficiência energética do ambiente. Além disso, espera-se que, com a rede temporizada, seja possível modelar e analisar a potência consumida em função do tempo.

Referências

- Anselmi, J., & Verloop, I. M. (2011). Energy-aware capacity scaling in virtualized environments with performance guarantees. *Performance Evaluation*, 68(11), 1207-1221.
- Ardagna, D., Panicucci, B., Trubian, M., & Zhang, L. (2012). Energy-aware autonomic resource allocation in multitier virtualized environments. *Services Computing, IEEE Transactions on*, 5(1), 2-19.
- Beloglazov, A. (2013). Energy-Efficient Management of Virtual Machines in Data Centers for Cloud Computing.
- Casalicchio, E., & Silvestri, L. (2012). Mechanisms for SLA provisioning in Cloud-based service providers. *Computer Networks*.
- Chaisiri, S., Lee, B. S., & Niyato, D. (2012). Optimization of resource provisioning cost in cloud computing. *Services Computing, IEEE Transactions on*, 5(2), 164-177.
- Dietrich, Jay and Schmidt Roger, (2007). O Datacenter verde. http://www.ibm.com/br/services/cio/optimize/pdf/White_Paper_Final_Datacenter_verde.pdf, Abril.
- Jensen, K., & Kristensen, L. M. (2009). *Coloured Petri Nets, Modeling and Validation of Concurrent Systems*. Springer.
- Kansal, N. J., & Chana, I. (2012). Cloud Load Balancing Techniques: A Step Towards Green Computing. *IJCSI International Journal of Computer Science*, (9), 1.
- Katsaros, G., Subirats, J., Oriol Fitó, J., Guitart, J., Gilet, P., & Espling, D. (2012). A service framework for energy-aware monitoring and VM management in Clouds. *Future Generation Computer Systems*.
- Magalhães, D.M.V (2012). Uma estratégia de Migração Dinâmica de Máquinas Virtuais para Economia de energia em Ambientes Computacionais Virtualizados. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Teleinformática) – Departamento de Engenharia Teleinformática, Universidade federal do Ceará, Ceará. Disponível em https://macc.lncc.br/restrito/admin/pdf/dissertacao_deborah_30mar1221-05-2013-141710.pdf

- Masanet, E. R., Brown, R. E., Shehabi, A., Koomey, J. G., & Nordman, B. (2011). Estimating the energy use and efficiency potential of US data centers. *Proceedings of the IEEE*, 99(8), 1440-1453.
- Shenai, S. (2012). Survey on Scheduling Issues in Cloud Computing. *Procedia Engineering*, 38, 2881-2888.
- Shuja, J., Madani, S. A., Bilal, K., Hayat, K., Khan, S. U., & Sarwar, S. (2012). Energy-efficient data centers. *Computing*, 94(12), 973-994.
- Tools, C. P. N. (2009). Computer tool for coloured petri nets, <http://cpntools.org/>
- Vasić, N., Novaković, D., Miućin, S., Kostić, D., & Bianchini, R. (2012, March). Dejavu: accelerating resource allocation in virtualized environments. In *Proceedings of the seventeenth international conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems* (pp. 423-436). ACM.