

Economia de Energia em Grades Computacionais Entre-Pares

Lesandro Ponciano, Francisco Brasileiro

¹Departamento de Sistemas e Computação–Universidade Federal de Campina Grande

{lesandrop}@lsd.ufcg.edu.br, {fubica}@dsc.ufcg.edu.br

Resumo. *Grades computacionais entre-pares são infraestruturas de computação amplamente utilizadas para executar aplicações científicas. Este trabalho apresenta evidências de que o consumo de energia dessas grades pode ser reduzido e propõe estratégias para atingir esse objetivo. Resultados obtidos por simulação dirigida por rastros mostram que as estratégias propostas permitem reduzir o uso de energia nessas grades em até 68,53%, com um impacto no tempo de resposta das aplicações de no máximo 3,8% e sem impacto significativo no tempo de vida útil dos recursos.*

1. Introdução

Grades computacionais oportunistas são infraestruturas de computação que utilizam ciclos ociosos de recursos computacionais. Esse tipo de sistema é adequado para executar aplicações do tipo saco-de-tarefas (*Bag-of-Tasks*) – aplicações que podem ser divididas em diversas tarefas independentes, que não se comunicam uma com as outras e que podem ser executadas paralelamente em recursos computacionais dispersos geograficamente. Aplicações com essas características são abundantes em vários cenários, incluindo mineração de dados, simulações, biologia computacional, entre muitas outras [Cirne et al. 2006]. A demanda de recursos computacionais gerada pelas aplicações do tipo saco-de-tarefas, aliada à existência de uma grande quantidade de recursos subutilizados pelos seus usuários locais, tem tornado muito popular o uso das grades oportunistas para execução de aplicações científicas [Brasileiro et al. 2011, Zhao et al. 2011].

Considerando o perfil de recursos e de demanda por recursos, as grades oportunistas podem ser divididas em duas classes: (i) computação voluntária, popularizada pelo projeto SETI@home¹; e (ii) grades entre-pares, como as que executam o sistema de *middleware* OurGrid [Cirne et al. 2006, Brasileiro et al. 2011]. Em computação voluntária, a maioria dos recursos disponibilizados é constituída por computadores pessoais de usuários domésticos e a demanda por recursos é, geralmente, maior do que a quantidade de recursos disponíveis. Por outro lado, em grades entre-pares, *desktops* conectados por uma rede local compreendem os recursos típicos e a demanda por recursos nessas grades ocorre em rajadas [Iosup and Epema 2011]. Uma rajada é caracterizada por breves períodos de alta demanda por recursos seguidos por longos períodos de baixa demanda. As implicações que essas diferenças têm na eficiência energética das grades entre-pares é uma das questões investigadas neste trabalho.

A demanda em rajadas faz com que as grades entre-pares oscilem entre períodos de alta e de baixa contenção por recursos. Quando há uma rajada de demanda, a quantidade de tarefas para ser executada é maior que a quantidade de recursos disponíveis

¹Search for Extraterrestrial Intelligence, <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

na grade, caracterizando um cenário de alta contenção por recursos. Por outro lado, após uma rajada de demanda a grade opera em baixa contenção, pois a quantidade de tarefas para serem executadas é menor que a quantidade de recursos disponíveis. Conseqüentemente, nos períodos de baixa contenção, existem recursos ociosos na grade, *i.e.*, que não estão executando uma tarefa da grade e nem do usuário local. Entretanto, manter os recursos ociosos não é uma prática eficiente em termos de consumo de energia, pois *desktops* apresentam um consumo de energia considerável quando mantidos nesse estado [Opitz et al. 2008].

Neste contexto, o **principal problema** tratado neste trabalho é o consumo de energia de grades computacionais entre-pares nos períodos de baixa contenção por recursos. Reduzir o consumo de energia da grade durante esses períodos é uma área de interesse tanto ambiental [Bolla et al. 2011] quanto econômico [Opitz et al. 2008]. O interesse ambiental está relacionado à redução do impacto da produção de energia no meio ambiente, como a emissão de dióxido de carbono (CO_2). O interesse econômico, por sua vez, está relacionado à redução do custo monetário da energia consumida pelos recursos ociosos.

Em uma ampla análise do estado da arte [Ponciano 2011], identificaram-se diversos estudos que tratam da redução do uso de energia em períodos de baixa contenção de infraestruturas de computação. Entretanto, os estudos identificados tratam de infraestruturas em que, diferentemente das grades entre-pares, os recursos são dedicados à computação, como é o caso dos aglomerados de computadores e das grades de serviço. Portanto, há uma carência de estudos que tratem do consumo de energia em grades entre-pares. Este trabalho preenche esta lacuna, tendo como **objetivo principal** analisar o impacto que estratégias para redução do consumo de energia podem ter na economia de energia, no aumento do tempo de resposta e na diminuição da vida útil dos recursos.

A Seção 2 deste documento apresenta as estratégias propostas para atingir o objetivo do trabalho. A Seção 3, por sua vez, apresenta o método de avaliação e os principais resultados obtidos. Por fim, a Seção 4 sintetiza as principais contribuições, publicações e as possibilidades de impacto do trabalho.

2. Estratégias de Economia de Energia

Nesta seção são propostas três estratégias de gerência de energia que podem ser aplicadas localmente em cada domínio administrativo de uma grade entre-pares: (i) estratégia de dormência; (ii) tempo de inatividade e (iii) estratégias de escolha de recursos. O uso dessas estratégias relaciona-se com dois serviços implementados pelos sistemas de *middleware* de grades entre-pares: trabalhador (*worker*), que é um serviço hospedado nos recursos utilizados para executar tarefas da grade; e gerente (*resources manager*), que é um serviço responsável por gerenciar os recursos de um domínio administrativo.

Para reduzir o consumo de energia de recursos mantidos ociosos nos períodos de baixa contenção, este trabalho propõe o uso de estados de dormência. Estados de dormência são fundados em primitivas de gerência de energia definidas pela interface de configuração e gerência de energia (ACPI², do inglês *Advanced Configuration and Power Interface*). Esses estados permitem que uma máquina ou parte dela seja desativada quase que completamente, entrando em estados de baixo consumo de energia enquanto o

²Mais detalhes sobre ACPI são apresentados na dissertação [Ponciano 2011].

estado das atividades é mantido. Um requisito para que estados de dormência possam ser utilizados em grades entre-pares é que o recurso adormecido possa ser acordado por meio eletrônico, dado que o gerente de recursos do domínio administrativo precisará acordar o recurso quando surgir uma nova tarefa para ser executada. Sobreaviso (*suspend-to-RAM*) e hibernação (*suspend-to-disk*) são dois estados de ACPI que atendem esse requisito. Um recurso em um desses estados pode ser acordado ao receber um pacote de rede *Wake-on-LAN* [Bolla et al. 2011].

Com o uso de estados de dormência, um recurso que está disponível para a grade pode operar em um dos seguintes estados: ativo (a), ocioso (o), sobreaviso (s) ou hibernação (h). Cada estado está associado a uma potência (P) em Watts e a uma latência (L). A latência é tempo gasto para o recurso transitar entre o estado de dormência e outro estado. Considere P_a , P_o , P_s , e P_h , respectivamente, as potências associadas aos estados ativo, ocioso, sobreaviso e hibernação. Além disso, $L_{s1,s2}$ é a latência necessária para um recurso transitar do estado $s1$ para o estado $s2$.

O estado ativo (a) indica que a máquina está executando uma tarefa submetida por um usuário da grade. Por outro lado, uma máquina no estado ocioso está disponível para a grade, mas não está executando nenhuma tarefa. A latência necessária para alternar uma máquina entre o estado ocioso e o estado ativo é desprezível e considerada zero ($L_{o,a} = L_{a,o} = 0$). Logo, uma máquina neste estado pode iniciar a execução de uma tarefa tão logo ela chegue. Os estados de dormência são estados equivalentes ao estado ocioso. A diferença é que eles apresentam menor potência ($P_h < P_s < P_o$) e as latências de transição não são desprezíveis ($L_{h,a} = L_{a,h} = L_{o,h} > L_{s,a} = L_{a,s} > L_{o,a} = L_{a,o}$).

A energia gasta para um recurso entrar e sair de um estado de dormência é calculada como a multiplicação do tempo gasto para o recurso dormir e acordar pela potência do estado ativo, *i.e.*, $E = (L_{a,x} + L_{x,a}) \times P_a$, $x \in \{h, s\}$. Quanto maior a latência do estado, maior é o custo energético da transição. Portanto, o recurso precisará ficar mais tempo dormindo para que o custo de transição seja pago e o estado gere economia de energia. Além disso, transições de estado não devem ser realizadas com muita frequência, do contrário, elas podem aumentar o tempo de resposta das tarefas e reduzir a vida útil dos discos rígidos. O atraso no tempo de resposta advém do tempo que as tarefas precisarão esperar até que o recurso seja acordado e inicie a execução. Por outro lado, o impacto na vida útil dos discos rígidos advém das interrupções em suas rotações (*spinning down*) quando estados de dormência são utilizados. Essas interrupções, se realizadas em excesso, podem diminuir o tempo de vida útil do disco, dado que, geralmente, os discos rígidos são fabricados para suportar até 50.000 transições em 5 anos, o equivalente a aproximadamente 27 transições diárias [Xie and Sun 2011].

Para mitigar esses possíveis impactos no tempo de resposta das aplicações e na vida útil dos recursos, pode-se utilizar uma política de tempo de inatividade. Essa política define um limite de tempo que um recurso deve permanecer ocioso antes que um estado de dormência seja usado. Outra decisão associada ao uso de estratégia de dormência é qual critério o gerente de recursos do domínio administrativo deve utilizar para decidir quais recursos devem ser acordados quando surgir uma demanda de recursos que demande que apenas alguns recursos adormecidos sejam acordados. Duas estratégias de escolha propostas são: acordar os recursos mais eficiente no aspecto energético (EA, do inglês *Energy-Aware*) ou acordar os recursos menos recentemente adormecido (LRS, do inglês

Least Recently Sleeping), i.e., acordar recursos que tendem a ter amortizado o custo de transição de estado (E).

3. Avaliação: método, resultados e conclusões

A avaliação utiliza simulações dirigidas por rastros³ para avaliar o impacto das estratégias propostas nas métricas economia de energia, atraso no tempo de resposta e número de transições. O simulador foi desenvolvido baseado no *middleware* de grade entre-pares OurGrid. As simulações utilizam rastros obtidos de grades computacionais reais. O simulador, os rastros e outros materiais utilizados encontram-se disponíveis na página: <http://redmine.lsd.ufcg.edu.br/projects/green-grid/wiki>.

Para simular diferentes níveis de contenção por recursos, fixou-se a carga de trabalho e variou-se o número de recursos na grade. A grade simulada é composta por 3 domínios administrativos, com o número de recursos em cada domínio variando de 20 a 200. São utilizados 30 rastros de submissões de aplicações, cada um apresenta dados de 2 dias de operação da grade. Foram avaliadas as estratégias de dormiência Sobreaviso e Hibernação, tempo de inatividade entre 0 e 1.800 segundos e estratégias de escolha de recursos EA e LRS. Adicionalmente, avaliaram-se estratégias de escolha de recursos aleatória e MRS (*Most Recently Sleep*) [Ponciano 2011]. Os principais resultados obtidos são apresentados nas Figuras 1 e 2. As barras de erro são para um nível de confiança estatística de 95%.

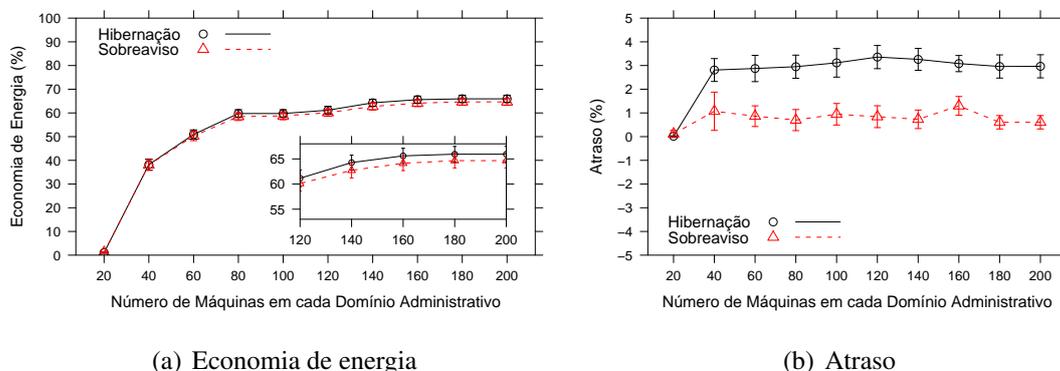


Figure 1. Impacto das Estratégias de Dormiência

Os resultados indicam que as estratégias de dormiência de recursos Sobreaviso e Hibernação, em cenários de baixa contenção, permitem reduzir o consumo de energia da grade em 65, 53% em relação a manter os recursos ociosos (Fig. 1(a)). A estratégia de escolha de recursos EA apresenta maior economia de energia que as demais estratégias de escolha (Fig. 2(a)) e permite aumentar, em até 3%, a economia de energia provida pelas estratégias de dormiência. Todas as estratégias geram impacto pequeno no tempo de resposta das aplicações. A estratégia de dormiência gera um atraso de até 3, 8% com o uso de Hibernação e de até 2% com o uso de Sobreaviso (Fig.1(b)).

O maior número de transições obtido em um único dia foi 4. Esse valor equivale a 16, 67% da média de 27 transições diárias estimada pelos fabricantes de discos

³Na dissertação [Ponciano 2011], algumas conclusões são obtidas de forma analítica.

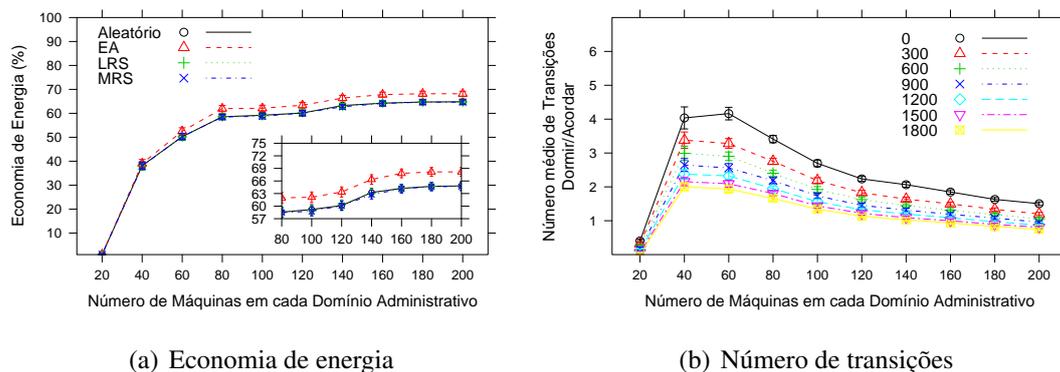


Figure 2. Impacto das Estratégias de Escolha e dos Tempos de Inatividade

rígidos. Portanto, o uso dessas estratégias não contribui significativamente para a redução do tempo de vida útil estimado. Além disso, o número de transições obtido também é menor que as 4,98 transições diárias que seriam realizadas se o usuário local, ao invés de disponibilizar sua máquina para a grade, adotasse uma estratégia que a colocasse em um estado de dormência, sempre que ela ficasse ociosa. De todo modo, em situações em que se mostre necessário reduzir o número de transições, isso pode ser obtido ao se aumentar o valor do tempo de inatividade (Fig. 2(b)).

Em síntese, os resultados indicam que, para os rastros analisados, uma grade entre-pares que utiliza a estratégia de dormência Sobreaviso, a estratégia de escolha EA e um tempo de inatividade configurado como 0 obtém uma economia de energia média de 68,53%. Esse benefício está associado a um pequeno custo de no máximo 2% de atraso no tempo de resposta das aplicações e sem impacto significativo na vida útil dos recursos.

4. Contribuições

Este é o primeiro trabalho a avaliar o impacto de estratégias de economia de energia em grades entre-pares. Sua **principal contribuição** é a proposta e avaliação do uso de estratégias de dormência, tempo de inatividade e estratégias de escolha de recursos para economizar energia em grades entre-pares. Como **subprodutos do trabalho**, podem-se citar três artigos científicos publicados e um aceito para publicação:

- *Assessing Green Strategies in Peer-to-Peer Opportunistic Grids* [Ponciano and Brasileiro 2012], aceito para publicação no Journal of Grid Computing;
- *Usando as Estratégias Sobreaviso e Hibernação para Economizar Energia em Grades Computacionais Oportunistas* [Ponciano et al. 2011], publicado na Revista Brasileira de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos;
- *On the Impact of Energy-saving Strategies in Opportunistic Grids* [Ponciano and Brasileiro 2010], publicado no Energy Efficient Grids Clouds and Clusters Workshop;
- *Análise de Estratégias de Computação Verde em Grades Computacionais Oportunistas*⁴ [Ponciano et al. 2010], publicado no Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC).

⁴Artigo premiado como um dos 5 melhores do SBRC'2010.

Como **possibilidades de impacto**, pode-se destacar que as estratégias propostas serão implantadas na grade entre-pares da Universidade Federal de Campina Grande (GridUFCG), que agregará mais de 1.000 *desktops* executando o *middleware* OurGrid. Por fim, destaca-se que a dissertação de mestrado a que se refere este documento recebeu o conceito “Aprovada com Distinção” no Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande.

References

- Bolla, R., Bruschi, R., Davoli, F., and Cucchietti, F. (2011). Energy efficiency in the future internet: A survey of existing approaches and trends in energy-aware fixed network infrastructures. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 13(2):223 – 244.
- Brasileiro, F., Andrade, N., Lopes, R., and Sampaio, L. (2011). Democratizing resource-intensive e-science through peer-to-peer grid computing. In *Guide to e-Science*, Computer Communications and Networks, pages 53 – 80. Springer London.
- Cirne, W., Brasileiro, F., Andrade, N., Costa, L., Andrade, A., Novaes, R., and Mowbray, M. (2006). Labs of the world, unite!!! *Journal of Grid Computing*, 4(3):225 – 246.
- Iosup, A. and Epema, D. (2011). Grid computing workloads. *Internet Computing, IEEE*, 15(2):19 –26.
- Opitz, A., König, H., and Szamlewska, S. (2008). What does grid computing cost? *Journal of Grid Computing*, 6:385–397.
- Ponciano, L. (2011). Avaliação do impacto de estratégias de economia de energia em grades computacionais entre-pares. Master’s thesis, Federal University of Campina Grande, Campina Grande, Brazil.
- Ponciano, L. and Brasileiro, F. (2010). On the impact of energy-saving strategies in opportunistic grids. In *Energy Efficient Grids, Clouds and Clusters, 11th ACM-IEEE International Conference on Grid Computing*, pages 282–289, Brussels, Belgium. IEEE.
- Ponciano, L. and Brasileiro, F. (2012). Assessing green strategies in peer-to-peer opportunistic grids. *Journal of Grid Computing*. (Aceito para publicação).
- Ponciano, L., Brasileiro, F., Santana, J., Carvalho, M., and Gaudencio, M. (2011). Usando as estratégias sobreaviso e hibernação para economizar energia em grades computacionais oportunistas. *Revista Brasileira de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 3(1):9–20.
- Ponciano, L., Santana, J., Carvalho, M., Gaudencio, M., and Brasileiro, F. (2010). Análise de estratégias de computação verde em grades computacionais oportunistas. In *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 307–320, Porto Alegre, Brasil. SBC.
- Xie, T. and Sun, Y. (2011). Understanding the relationship between energy conservation and reliability in parallel disk arrays. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 71:198 – 210.
- Zhao, H., Liu, X., and Li, X. (2011). A taxonomy of peer-to-peer desktop grid paradigms. *Cluster Computing*, 14:129–144.