

Um Algoritmo de Escalonamento em Computação em Nuvem Energeticamente Consciente

Pedro Paulo Vezzà Campos

MONOGRAFIA APRESENTADA
AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE
BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Programa: Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Daniel Macêdo Batista

31 de agosto de 2013

Sumário

I	Parte Objetiva	1
1	Cronograma	3
1.1	Tarefas Realizadas	3
1.2	Tarefas em Andamento	3
1.3	Tarefas a fazer	3
2	Introdução	5
2.1	Motivação	5
2.2	Objetivos	6
2.3	Desafios	6
3	Conceitos	7
3.1	Computação em Nuvem	7
3.2	Consumo Energético	7
3.2.1	Migração de Máquinas Virtuais	8
3.2.2	Dimensionamento Dinâmico de Tensão e Frequência	8
3.3	Escalonamento de Tarefas	8
3.3.1	<i>Heterogeneous Earliest Finish Time</i>	8
3.4	Ambiente de Simulação	10
3.4.1	CloudSim	10
3.4.2	WorkflowSim	11
3.4.3	PowerWorkflowSim	11
4	Experimentos	13
4.1	O Estado da Arte	13
4.2	Algoritmo Proposto	13
4.3	Resultados Experimentais	13
5	Conclusões	15
5.1	Considerações Finais	15
II	Parte Subjetiva	17
6	O Trabalho de Conclusão de Curso	19
6.1	Desafios e frustrações	19

6.2	Observações sobre a aplicação real de conceitos estudados	19
7	A Graduação em Ciência da Computação	21
7.1	Disciplinas cursadas relevantes para o desenvolvimento do TCC	21
7.2	Próximos Passos	21
	Referências Bibliográficas	23

Parte I

Parte Objetiva

Capítulo 1

Cronograma

1.1 Tarefas Realizadas

1. Leitura da bibliografia sobre:
 - Vantagens da virtualização de servidores em termos energéticos: [BH07] [BB10] [BGD⁺09] [FC07] [Mur08] [VMw] [RSR⁺07]
 - Arquitetura interna dos simuladores utilizados: CloudSim e WorkflowSim [CRB⁺11] [CD12]
 - Escalonamento de tarefas em computação em grade (*grid computing*) [CBdF11] [BCdF11]
2. Experimentos iniciais com quatro simuladores de *grid/cloud computing*: CloudSim, GridSim, SimGrid e WorkflowSim.
3. Simulação energética de experimentos-controle no PowerWorkflowSim.
4. Estudo do código fonte C++ produzido no artigo [CBdF11]

1.2 Tarefas em Andamento

1. Implementação do algoritmo HEFT
2. Desenvolvimento do PowerWorkflowSim, que une as funcionalidades da biblioteca de simulação energética do CloudSim com o processamento de workflows científicos do WorkflowSim.

1.3 Tarefas a fazer

1. Implementar requisitos de software no WorkflowSim
2. Implementar o algoritmo de [CBdF11] no WorkflowSim.
3. Trabalhar com Elaine Watanabe na concepção de um novo algoritmo de escalonamento.

Capítulo 2

Introdução

Esta monografia desenvolvida durante o ano de 2013 para a disciplina MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado apresenta os trabalhos realizados no estudo e experimentação com técnicas de escalonamento de tarefas em ambientes de computação em nuvem sob a orientação do professor Daniel Macêdo Batista.

Em conjunto com a aluna de mestrado Elaine Watanabe, foi desenvolvido e testado um novo algoritmo fosse energeticamente eficiente. Enquanto a aluna focou na concepção do algoritmo, o aluno dedicou-se a adaptar simuladores existentes para validar o algoritmo e realizar experimentos que atestem sua qualidade.

A parte objetiva deste trabalho está organizado da seguinte forma: No capítulo 3 são apresentados brevemente os conceitos que fundamentam pesquisas na área e que são necessários para a compreensão dos capítulos seguintes. Posteriormente, no capítulo 4 o foco é direcionado para a situação atual na área de estudo, é apresentado de maneira profunda o novo algoritmo desenvolvido juntamente com resultados experimentais comparativos. Conclusões e considerações finais são descritas em 5.

Já a parte subjetiva está organizada em dois tópicos principais: No capítulo 6 há uma reflexão acerca do processo de produção deste trabalho e sua aplicação. Já no capítulo 7 há uma reflexão mais ampla sobre as experiências vividas em cinco anos de graduação em duas universidades distintas e uma previsão dos próximos passos a seguir.

2.1 Motivação

Desde a década de 1970 a oferta de poder computacional, armazenamento e comunicação vem crescendo em um ritmo exponencial com o tempo. Até o fim da década de 1990 essas necessidades vinham sendo supridas com aperfeiçoamentos nas arquiteturas dos computadores e melhorias no processo produtivo. A Lei de Moore continuava se mostrando válida, duplicando o poder dos computadores e servidores a cada 18 meses e, junto com esse aumento, impondo uma necessidade energética cada vez maior para manter o computador funcionando e refrigerado. Porém, com a chegada dos anos 2000 percebeu-se que o projeto de processadores encontrou uma barreira de potência. Processadores da época, tal como o Pentium 4, dissipavam 100W de potência e sua eficiência energética era baixa. [PH12] Assim, surgiu uma nova tendência, processadores mais simples e mais paralelos utilizando novas técnicas de economia de energia. Em suma, surgiu uma demanda por uma computação mais “verde” (*green computing*).

Iniciou-se, assim, uma tendência de concentração do poder de computação e armazenamento em torno dos grandes *data centers* e *data warehouses*. A computação em nuvem (*cloud computing*) passou a ser apresentada como uma solução para a redução de custos e desperdícios através da racionalização de recursos computacionais. Na seção 3.1 são apresentadas as inovações presentes nesse modelo de computação. Porém, o sucesso dessa metodologia depende de estratégias inteligentes que permitam gerenciar os recursos disponíveis permitindo realizar uma economia de escala sem afetar os usuários.

Em um nível mais técnico, uma nuvem é desenhada para executar tarefas, estas subdivididas em subtarefas. Cada subtarefa pode possuir uma demanda específica de ambiente para ser executada, sistema operacional, programas instalados, poder mínimo de processamento, armazenamento, etc. Ainda, subtarefas podem depender de que uma subtarefa anterior tenha sido concluída antes de poder ser executada. Em [CBdF11] e [BCdF11] Chaves e Batista mostraram que é possível modelar tais tarefas como digrafos acíclicos (DAGs) que incorporem as demandas de ambiente. Ainda, desenvolveram uma heurística para escalonar as subtarefas em computação em grade (*grid computing*), similar à computação em nuvem, visando diminuir o tempo de conclusão da tarefa através da otimização do tráfego de rede necessário.

2.2 Objetivos

Este trabalho tem por intenção implementar e validar uma nova heurística para o problema apresentado que também otimize o consumo energético sem grandes prejuízos ao tempo de execução da tarefa. A heurística foi desenvolvida por Elaine Watanabe, aluna de Mestrado em Computação do IME/USP. O desempenho desse algoritmo é ser comparado com a heurística proposta por Chaves e Batista em [CBdF11] e [BCdF11] e com outros algoritmos com objetivos similares encontrados na literatura. Para isso será feito uso de um simulador de computação em nuvem, o WorkflowSim, a ser detalhado na seção 3.4.

2.3 Desafios

As dificuldades enfrentadas neste artigo vem de duas fontes: A primeira é tecnológica, há diversos simuladores de computação em nuvem ou em grade, porém o tópico de simulação energética é relativamente recente como atividade de pesquisa. Sendo assim, de todos programas de simulação estudados, CloudSim, GridSim, SimGrid e WorkflowSim, apenas o primeiro possui tal funcionalidade funcional. O simulador escolhido, WorkflowSim, apesar de ser baseado no CloudSim não tem por padrão a API de simulação energética disponível. Uma das tarefas da monografia foi justamente resolver tal problema.

O outro desafio é uma questão computacional mais fundamental: O problema de escalonar tarefas em diversos processadores (Num sentido mais amplo do que seria um processador) é NP-completo. [Sin07] Para contornar esse problema foram desenvolvidas diversas heurísticas, inclusive a apresentada nesta monografia. Um trecho do livro *Task Scheduling for Parallel Systems* de Oliver Sinnen resume a relação custo-benefício que deve ser ponderada para a descoberta de um escalonamento ótimo:

Unfortunately, finding a schedule of minimal length (i.e., an optimal schedule) is in general a difficult problem. This becomes intuitively clear as one realizes that an optimal schedule is a trade-off between high parallelism and low interprocessor communication. On the one hand, nodes should be distributed among the processors in order to balance the workload. On the other hand, the more the nodes are distributed, the more interprocessor communications, which are expensive, are performed. In fact, the general decision problem (a decision problem is one whose answer is either “yes” or “no”) associated with the scheduling problem is NP-complete. [Sin07]

Capítulo 3

Conceitos

3.1 Computação em Nuvem

Computação em nuvem ou *cloud computing* é um nicho de mercado que se tornou atrativo com o barateamento de insumos necessários à computação como energia, poder de processamento, armazenamento e transmissão de dados, permitindo uma economia de escala. [AFG⁺09] Através desse paradigma computacional, surgiu a noção de computação como um serviço, elástico, virtualmente ilimitado e pago apenas pela porção realmente utilizada, muito similar ao sistema de distribuição elétrica.

O objetivo final da computação em nuvem é concentrar dados para prover um serviço ubíquo ao usuário, empresas ou pessoas físicas, que delegariam a gestão dessa informação a terceiros competentes para prover um serviço de qualidade e seguro. Grandes empresas da área de tecnologia possuem soluções de computação em nuvem, dentre as quais podemos citar Amazon, Google, Microsoft, IBM e EMC.

Uma importante vantagem de *cloud computing* é que com essa concentração de dados e serviços é possível desenvolver técnicas de otimização do uso de grandes *data centers*. Segundo estudo realizado por Barroso e Hölzle [BH07] em 5000 servidores do Google, raramente eles permanecem completamente ociosos e dificilmente operam próximos da sua utilização máxima. Na maior parte do tempo estão trabalhando entre 10% e 50% do nível máximo. Os autores mostram que justamente nessa faixa de utilização tais servidores são menos eficientes energeticamente.

Computação em nuvem é uma candidata a ajudar a melhorar essa perspectiva. Através de virtualização e reposicionamento automático de máquinas virtuais no data center de maneira transparente, uma realidade em produtos pagos ou livres, é possível dimensionar qual parcela do data center estará ativa em um dado momento dependendo da demanda. Vários servidores com pouca utilização poderiam ser, por exemplo, virtualizados em um único servidor físico de modo que este trabalhe com uma utilização que seja mais eficiente.

Vale ressaltar que em uma situação ideal, toda essa consolidação de servidores é transparente ao usuário final. Em caso de um pico na demanda por um determinado serviço, o provedor da nuvem deve garantir que haja uma resposta rápida da infraestrutura para suportar a nova carga requisitada. Dessa forma, são respeitados os acordos de nível de serviço (SLA - *Service level agreement*) estabelecidos entre o usuário e o fornecedor da nuvem.

3.2 Consumo Energético

Seguindo a tendência comentada na seção 2.1, os serviços de TI vem apresentando um forte crescimento devido à contínua migração de serviços, análise de dados (*Big Data*, *Business Intelligence*, etc.) e processamentos científicos para grandes data centers. Com isso, o consumo energético total também tem aumentado a níveis alarmantes. Em uma análise do custo total de posse de um *data center* de alta disponibilidade, cada rack possui um custo de US\$120.000 ao longo de 10 anos. [Ras11] Este custo está dividido da seguinte forma:

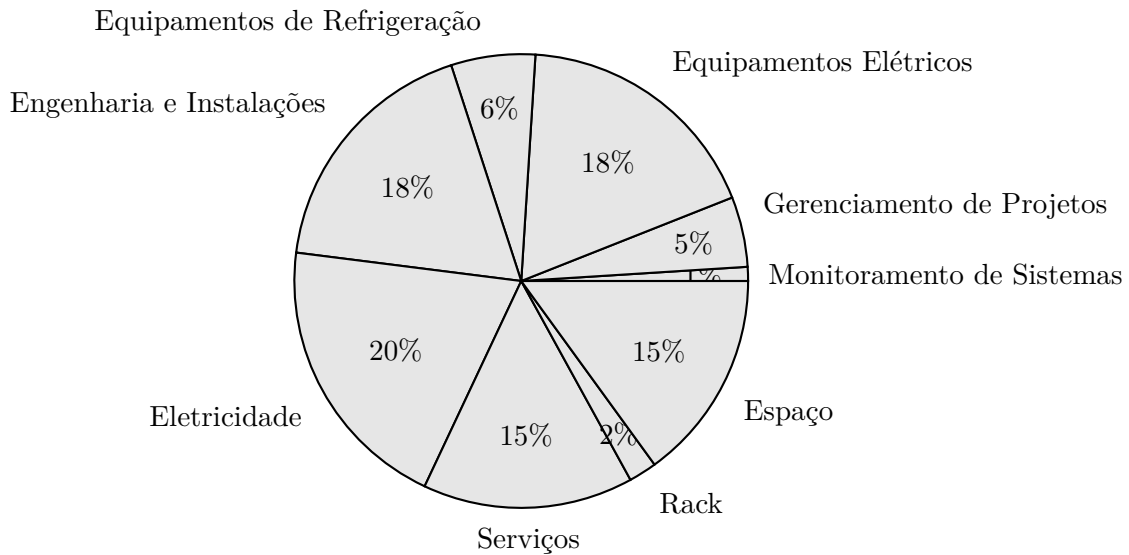


Figura 3.1: *Custo total de posse de um data center típico de alta disponibilidade [Ras11]*

Como é possível ver na figura 3.1, os custos relacionados à eletricidade mais os gastos com equipamentos que apenas cumprem o propósito de garantir que o servidor permaneça ligado e refrigerado totalizam 44%. Portanto, uma redução nestes gastos gera um impacto tanto econômico quanto ambiental, com a redução dos recursos naturais necessários para sustentar um *data center*.

3.2.1 Migração de Máquinas Virtuais

Uma das grandes vantagens de manipular máquinas virtuais em um ambiente como o de computação em nuvem é o fato que é relativamente simples fazer uma realocação de máquinas virtuais de uma máquina hospedeira para outra. O objetivo desse processo é o de minimizar o número de nós físicos que estão atendendo a carga de trabalho atual. Enquanto isso, os nós ociosos ficam livres para serem desligados ou colocados em algum estado de hibernação profunda, com baixo consumo energético. [BB10].

3.2.2 Dimensionamento Dinâmico de Tensão e Frequência

A estratégia de dimensionamento dinâmico de tensão e frequência, do inglês *dynamic voltage and frequency scaling*, é uma tática bastante difundida entre os fabricantes de processadores como uma forma pouco invasiva de economizar energia elétrica. Tecnologias como o *Intel Speed Step* e o *AMD Coll'n'Quiet*, que ajustam automaticamente, em hardware, a tensão e frequência dos processadores de acordo com suas cargas de trabalho. Se há altas cargas de trabalho, o processador aumenta os níveis de tensão e frequência, caso contrário diminui esses níveis. [LMB12]

3.3 Escalonamento de Tarefas

Segundo [LMB12], o escalonamento de tarefas pode ser visto através de duas óticas: A do usuário da nuvem, que deseja que sua tarefa execute o mais rapidamente possível e com o menor custo e a perspectiva do provedor da nuvem, interessado em reduzir os recursos utilizados, gerando economias na manutenção e energia elétrica. Esta monografia foca no escalonamento pelo ponto de vista do provedor.

3.3.1 *Heterogeneous Earliest Finish Time*

O algoritmo *Heterogeneous Earliest Finish Time* – HEFT é um algoritmo de escalonamento de fluxos de trabalho modelados utilizando um digrafo acíclico (Directed acyclic graph – DAG) para

um número limitado de computadores heterogêneos. [KH01]

O HEFT consiste de duas fases principais:

Fase de priorização Definição das prioridades das tarefas e a seleção de tais tarefas baseado nas suas prioridades

Fase de seleção Mapeamento e escalonamento de cada tarefa selecionada em um processador

Fase de Priorização

Nesta fase do algoritmo HEFT, cada tarefa deve ser priorizada considerando o comprimento do caminho crítico (Ou seja, o maior caminho) de uma dada tarefa até a tarefa final no fluxo de trabalho. (Passos 1 a 5 no algoritmo HETEROGENEOUS-EARLIEST-FINISH-TIME). A lista de tarefas a serem executadas são então ordenadas pela ordem decrescente do comprimento do caminho crítico. Com essa ordem, produzimos uma ordenação topológica das tarefas, preservando as restrições de precedência do DAG.

A prioridade de uma tarefa n_i é definida recursivamente como:

$$rank_u(n_i) = \overline{w}_i + \max_{n_j \in succ(n_i)} (\overline{c}_{i,j} + rank_u(n_j))$$

onde n_i representa a i -ésima tarefa, \overline{w}_i é uma média do custo computacional da tarefa i entre todos os processadores, $succ(n_i)$ é o conjunto de todas as tarefas que dependem imediatamente da tarefa n_i e $\overline{c}_{i,j}$ é o custo de comunicação dos dados transferidos entre as tarefas n_i e n_j .

Note que o cálculo de $rank_u(n_i)$ depende do cálculo do $rank$ de todas as suas tarefas filhas. A noção intuitiva por trás do $rank$ é que ele deve representar a distância esperada de qualquer tarefa até o fim da execução do *workflow*.

HETEROGENEOUS-EARLIEST-FINISH-TIME()

- 1 Defina os custos computacionais das tarefas e os custos de comunicação das arestas com valores médios
- 2 Calcule $rank_u$ para todas as tarefas varrendo o grafo de “baixo para cima”, iniciando pela tarefa final.
- 3 Ordene as tarefas em uma lista de escalonamento utilizando uma ordem não crescente de valores de $rank_u$.
- 4 **enquanto** há tarefas não escalonadas na lista
- 5 Selecione a primeira tarefa, n_i da lista de escalonamento.
- 6 **para** cada processador p_k no conjunto de processadores ($p_k \in P$)
- 7 Calcule o Earliest Execution Finish Time da tarefa n_i
- 8 Defina a tarefa n_i para executar no processador p_j que minimiza o Earliest Execution Finish Time da tarefa n_i .

Fase de Seleção

Para selecionar qual processador irá executar uma dada tarefa, calculamos o tempo mais cedo de conclusão (*earliest finish time* – EFT), de uma dada tarefa. Normalmente, o tempo mais cedo para um processador p_j tornar-se disponível para executar uma tarefa é o momento que p_j termina a execução da última tarefa designada a ele. (Caso não haja tarefa sendo executada, o valor será zero.) Com o algoritmo HEFT, a busca por um espaço de tempo vago em um processador p_j começa a partir do momento que o processador p_j torna-se vago. A busca continua até que seja possível encontrar o primeiro *slot* de tempo grande o suficiente para suportar a computação da tarefa n_i .

Análise de Complexidade do HEFT

No algoritmo HETEROGENEOUS-EARLIEST-FINISH-TIME, o passo 1 toma tempo $O(e \times p)$ para computar as médias enquanto o passo 2 toma tempo $O(e)$ para computar o comprimento do

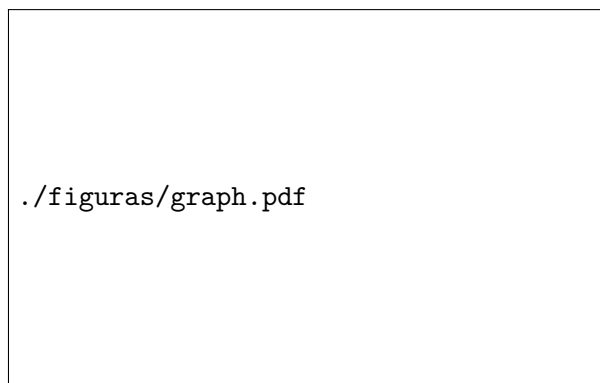


Figura 3.2: *Arquitetura do CloudSim*

caminho crítico, onde e é o número de arestas no DAG e p o número de processadores. Para n tarefas a serem escalonadas, o passo 3 necessita de um tempo $O(n \log n)$ para ordenar as tarefas pelo comprimento de seus caminhos críticos. Seja a o número de tarefas que tem n_i como predecessora no DAG, então os passos 5-9 ocupam um tempo $O(a \times p)$ para uma tarefa n_i , assim, o laço enquanto necessita de um tempo $O(e \times p)$. Portanto, a complexidade do algoritmo HEFT é $O(e \times p)$.

3.4 Ambiente de Simulação

De forma a validar diferentes algoritmos e abordagens para problemas em computação em nuvem há algumas alternativas: Uma possibilidade seria a execução de instâncias reais dos problemas em provedores reais de *cloud computing*. Essa alternativa possui como problema o custo monetário envolvido na instanciação de máquinas virtuais por um tempo prolongado. Ainda, não há o controle sobre o ambiente de simulação, prejudicando a reproducibilidade dos experimentos. Outra opção seria a de instalar um ambiente próprio para experimentos, novamente esbarrando em problemas financeiros.

Uma alternativa mais factível é a utilização de ambientes de simulação virtual. Estas ferramentas abrem a possibilidade de avaliar uma hipótese em um ambiente totalmente controlado e facilmente reproduzível. Ainda, há um ganho na facilidade de simular diferentes variações de ambientes, facilitando a busca por gargalos na eficiência dos algoritmos utilizados. Esses benefícios vem ao custo da simplificação dos modelos utilizados para simular o ambiente proposto.

Nesta seção serão apresentados os principais simuladores utilizados nos experimentos descritos no capítulo 4: CloudSim, WorkflowSim e PowerWorkflowSim.

3.4.1 CloudSim

CloudSim [CRB⁺11] é um simulador para computação em nuvem, reconhecido academicamente com citações em mais de 300 de trabalhos indexados pelo Google Scholar [goo13]. Ele provê as funcionalidades de simulação de máquinas virtuais, *hosts*, *data centers*, políticas de provisionamento de recursos, tarefas a serem executadas em máquinas virtuais (*cloudlets*) além, de efetuar análises de duração de simulações e consumo de energia. Na figura 3.2 é possível ver a arquitetura projetada pelos desenvolvedores do CloudSim.

A arquitetura em camadas do CloudSim permite uma separação clara das diferentes possibilidades de extensão e experimentação em um ambiente de computação em nuvem. Por exemplo, todo o código responsável pela simulação energética do CloudSim é na verdade uma especialização das classes originais do simulador. Assim, a classe `PowerDatacenter` e `PowerHost` são classes herdadas de `Datacenter` e `Host` respectivamente.

Com a boa aceitação do CloudSim como uma ferramenta de simulação, passaram a surgir simuladores mais especializados, como por exemplo o WorkflowSim, assunto da seção 3.4.2.

Modelagem de uma Nuvem Computacional

Os serviços de infraestrutura providos por nuvens podem ser simulados através da extensão da classe `Datacenter` do CloudSim. Esta entidade gerencia diversos `Hosts`. Cada `Host` possui uma capacidade de processamento pré determinada, medida em milhões de instruções por segundo (MIPS) e podendo ser com apenas um único ou vários núcleos de processamento, memória e armazenamento. Um `Host` pode incorporar uma ou mais `Vm` de acordo com as políticas de alocação definidas nele pelo administrador da nuvem. Uma política de alocação é definida como as operações relacionadas a uma `Vm` durante seu ciclo de vida: Escolha de um `Host`, criação, migração e destruição.

De maneira similar, cada `Vm` possui capacidades de processamento, memória, banda e número de processadores definidos no momento da sua criação. Ainda, pode executar uma ou mais tarefas, `Cloudlets`, obedecendo-se as políticas de provisionamento de aplicações.

Modelagem do Consumo Energético

Como discutido anteriormente, o CloudSim possui uma extensão que incorpora a modelagem do consumo energético das máquinas utilizadas na simulação. Nessa extensão cada elemento de processamento (Tipicamente um *core*) inclui um objeto que estende tipo abstrato `PowerModel`, responsável por gerenciar o consumo energético. Isso garante um desacoplamento entre o processamento e a estratégia de economia de energia modelagem energéticas empregadas. Por exemplo, um `PowerModel` pode levar em conta a estratégia de DVFS descrita na seção 3.2.2 enquanto outra não. O CloudSim apresenta algumas implementações concretas da classe `PowerModel`. A técnica de modelagem empregada é descrita em [BB12].

3.4.2 WorkflowSim

Apesar de ser bem consolidado como ferramenta de simulação de computação em nuvem, o CloudSim não possui certas características necessárias à simulação de *workflows* científicos como por exemplo as ineficiências causadas pelo uso de sistemas heterogêneos e falhas. Ainda, percebe-se a falta de suporte a técnicas de otimização de execução de *workflows* amplamente utilizadas tais como o *clustering* de tarefas. De forma a resolver essas demandas o WorkflowSim foi criado tendo como base o CloudSim [CD12].

Enquanto o CloudSim se concentra na execução de uma única carga de trabalho, o WorkflowSim foca no escalonamento do *workflow* e sua execução. O último processa *workflows* modelados como DAGs, realizando um escalonamento que obedece a precedência imposta pelo DAG. Ainda, é simples implementar diferentes algoritmos de escalonamento e testar suas eficiências. Uma das atividades desse TCC foi implementar o algoritmo HEFT comentado na seção 3.3.1 no WorkflowSim.

Na parte de modelagem de falhas, os autores decidiram focar em falhas transientes, mais frequentes que falhas permanentes. O simulador permite ao projetista de algoritmos de escalonamento desenvolver algoritmos tolerantes a tais falhas transientes.

Como é possível ver na figura 3.3, há múltiplas camadas de componentes envolvidos na preparação e execução do *workflow*: Um `Workflow Mapper` que mapeia *workflows* abstratos em *workflows* concretos, dependentes do local de execução; uma `Workflow Engine` que gerencia a dependência de dados e um `Workflow Scheduler` para associar tarefas aos processadores. Outros componentes incluem uma `Clustering Engine`, que é responsável tarefas menores em um pacote maior, um `Provenance Collector`, dedicado a registrar a história da execução de uma tarefa e um `Workflow Partitioner`, que divide o *workflow* em diversos *sub-workflows*.

3.4.3 PowerWorkflowSim

Durante a implementação do WorkflowSim os desenvolvedores não tomaram o cuidado de manter a API de simulação energética do CloudSim acessível ao usuário final. De maneira a resolver

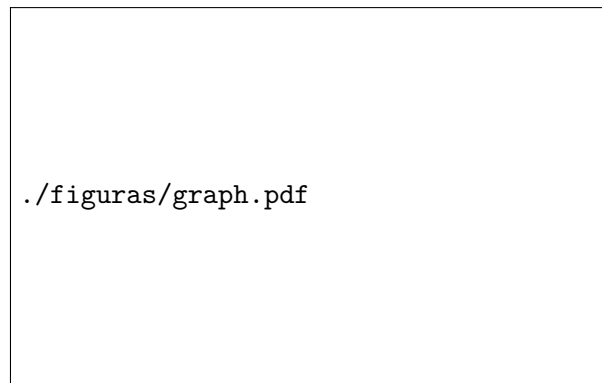


Figura 3.3: *Arquitetura do WorkflowSim*

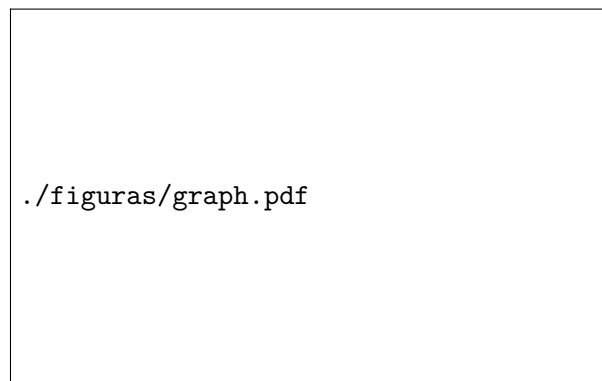


Figura 3.4: *Diagrama de Classes do PowerWorkflowSim*

esse problema, o autor da monografia desenvolveu uma versão alternativa do WorkflowSim, o PowerWorkflowSim.

Como tanto a API energética do CloudSim quanto o WorkflowSim são basicamente *wrappers* do CloudSim, o trabalho necessário foi o de garantir que a funcionalidade de um não conflitasse com a do outro. O diagrama de classes resultante do PowerWorkflowSim está representado abaixo.

Capítulo 4

Experimentos

4.1 O Estado da Arte

4.2 Algoritmo Proposto

4.3 Resultados Experimentais

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Considerações Finais

Parte II

Parte Subjetiva

Capítulo 6

O Trabalho de Conclusão de Curso

6.1 Desafios e frustrações

6.2 Observações sobre a aplicação real de conceitos estudados

Capítulo 7

A Graduação em Ciência da Computação

7.1 Disciplinas cursadas relevantes para o desenvolvimento do TCC

7.2 Próximos Passos

Referências Bibliográficas

- [AFG⁺09] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy Katz, Andy Konwinski, Gunho Lee, David A. Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica e Matei Zaharia. Above the clouds: A berkeley view of cloud computing, Feb 2009. 7
- [BB10] Anton Beloglazov e Rajkumar Buyya. Energy Efficient Allocation of Virtual Machines in Cloud Data Centers. *2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing*, páginas 577–578, 2010. 3, 8
- [BB12] Anton Beloglazov e Rajkumar Buyya. Optimal online deterministic algorithms and adaptive heuristics for energy and performance efficient dynamic consolidation of virtual machines in Cloud data centers. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 24:1397–1420, 2012. 11
- [BCdF11] D.M. Batista, C.G. Chaves e N.L.S. da Fonseca. Embedding software requirements in grid scheduling. Em *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, páginas 1–6, 2011. 3, 6
- [BGD⁺09] A. Berl, E. Gelenbe, M. Di Girolamo, G. Giuliani, H. De Meer, M. Q. Dang e K. Pentikousis. Energy-Efficient Cloud Computing. *The Computer Journal*, 53(7):1045–1051, Agosto 2009. 3
- [BH07] L.A. Barroso e U. Hözlze. The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12):33–37, 2007. 3, 7
- [CBdF11] C.G. Chaves, D.M. Batista e N.L.S. da Fonseca. Scheduling grid applications with software requirements. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 9(4):578–585, 2011. 3, 6
- [CD12] Weiwei Chen e E. Deelman. Workflowsim: A toolkit for simulating scientific workflows in distributed environments. Em *E-Science (e-Science), 2012 IEEE 8th International Conference on*, páginas 1–8, 2012. 3, 11
- [CRB⁺11] Rodrigo N. Calheiros, Rajiv Ranjan, Anton Beloglazov, César A. F. De Rose e Rajkumar Buyya. Cloudsim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms. *Softw. Pract. Exper.*, 41(1):23–50, Janeiro 2011. 3, 10
- [FC07] Wu-chun Feng Wu-chun Feng e K W Cameron. The Green500 List: Encouraging Sustainable Supercomputing. *Computer*, 40(12):50–55, 2007. 3
- [goo13] Calheiros: Cloudsim: a toolkit for modeling and simulation of ... - google scholar, 2013. [Online; acessado em 30 de agosto de 2013]. 10
- [KH01] D. Kim e S. Hariri. *Virtual Computing: Concept, Design, and Evaluation*. Advances in Information Security. Kluwer Academic Publishers, 2001. 9

- [LMB12] Daniel G Lago, Edmundo R M Madeira e Luiz Fernando Bittencourt. Escalonamento com Prioridade na Alocação Ciente de Energia de Máquinas Virtuais em Nuvens. *XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, páginas 508–521, 2012. 8
- [Mur08] San Murugesan. Harnessing Green IT : Principles and Practices. *IT Pro*, (February), 2008. 3
- [PH12] D.A. Patterson e J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design: The Hardware/-software Interface*. Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Morgan Kaufmann, 2012. 5
- [Ras11] Neil Rasmussen. Determining Total Cost of Ownership for Data Center and Network Room Infrastructure. Relatório técnico, Schneider Electric, Paris, 2011. 7, 8
- [RSR⁺07] Suzanne Rivoire, Mehul A Shah, Parthasarathy Ranganathan, Christos Kozyrakis e Justin Meza. Models and Metrics to Enable Energy-Efficiency Optimizations. (December):39–48, 2007. 3
- [Sin07] O. Sinnen. *Task Scheduling for Parallel Systems*. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. Wiley, 2007. 6
- [VMw] VMware. How VMware Virtualization Right-sizes IT Infrastructure to Reduce Power Consumption. 3