

## **N-Clusters: Ferramenta para a gerência de ambientes de Computação Massivamente Paralela e Distribuída**

**Jonathan Barbosa<sup>1,3</sup>, Victor Oliveira<sup>1</sup>, Matheus Bandini<sup>2,3</sup>,  
Bruno Schulze<sup>1</sup>, Antonio Mury<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)  
Av. Getúlio Vargas, 333 – Quitandinha – 25651-075 – Petrópolis – RJ – Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense (IC/UFF)  
Rua Passo da Pátria 156 – São Domingos – 24210-240 – Niterói – RJ – Brasil

<sup>3</sup>Faculdades de Educação Tecnológica do Estado do RJ (FAETERJ/Petrópolis)  
Av. Getúlio Vargas, 335 – Quitandinha – 25651-075 – Petrópolis – RJ – Brasil

**Abstract.** *This paper presents a tool that has the goal of providing on demand infrastructure to comply with user specific configuration needs. N-Clusters provides task submission environments for Massive Parallel and Distributed Computing, to help users through task submission process, to improve resource management and to allow the usage of underutilized infrastructure for knowledge dissemination.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma ferramenta que tem por finalidade, disponibilizar infraestruturas sob demanda que atendam a necessidade de configurações específicas de usuários. O N-Clusters provê ambientes para a execução de tarefas de Computação Massivamente Paralela e Distribuída (CMPD), para auxiliar o usuário através do processo de submissão de tarefas, aprimorar a gerência dos recursos e permitir o uso de infraestruturas subutilizadas e legadas, que podem ser utilizadas para a disseminação do conhecimento.*

### **1. Introdução**

A complexidade dos problemas atuais cresceu significativamente por haver um aumento na quantidade de informações disponíveis e no número de variáveis a elas relacionadas. Com isso, a dificuldade em obter resultados e o tempo de experimentos passam a ser fatores impactantes em diversas áreas na pesquisa científica e no desenvolvimento tecnológico.

O uso de *clusters* associado à utilização de tecnologias com arquiteturas diferenciadas, como *multi/many cores*, visam resolver problemas complexos em tempos menores. Com isso, passam a ser necessárias aplicações voltadas para essas arquiteturas, para que possam usufruir ao máximo destes recursos.

Este avanço, porém, acarreta também na complexidade da gestão dessa infraestrutura e na capacidade de uso por seus usuários finais, em consequência de maiores quantidades de recursos sob a gerência dos administradores e a quantidade de etapas para a submissão e execução das tarefas, além de conhecimento técnico sobre o assunto. Com base nesses elementos, verifica-se que, para melhor utilizar esses recursos, surge a necessidade de: elaborar um sistema de gestão simples e unificado, contendo informações

sintéticas e com uma inteligência embutida tratando as informações coletadas; criar um ambiente para assessoramento dos usuários; e melhor aproveitar as infraestruturas disponíveis/legadas e otimizar o seu uso.

O foco da ferramenta desenvolvida, chamada N-Clusters, é apresentar e disponibilizar uma infraestrutura sob demanda (*Infrastructure as a Service - IaaS*), atendendo a características e configurações específicas de usuários, além de permitir a criação de ambientes virtuais para processamento massivamente paralelo e distribuído, por meio de uma interface via navegador. Desta forma, pretende-se: prover ambientes para a submissão de tarefas de Computação Massivamente Paralela e Distribuída (CMPD); facilitar o processo de submissão de tarefas, guiando o usuário através de uma interface simples e intuitiva; obter flexibilidade e melhor gerência dos recursos; e permitir que a infraestrutura subutilizada e legada possa ser utilizada para a disseminação do conhecimento.

Para isto, técnicas como virtualização são usadas para atender tais necessidades individuais de pesquisadores, professores e alunos da área acadêmica, bem como funcionários de pequenas e médias empresas do setor industrial.

A seção 2 deste artigo apresenta a revisão da literatura e trabalhos que, de alguma forma, estão relacionados com a ferramenta N-Clusters. A seção 3 apresenta a descrição do N-Clusters, composta pela arquitetura da ferramenta e por suas funcionalidades. Por fim, a seção 4 apresenta as considerações finais, contendo as conclusões obtidas e os possíveis trabalhos futuros identificados.

## 2. Trabalhos Relacionados

A capacidade de proporcionar ambientes mais amigáveis, com grande poder computacional e com o uso colaborativo de recursos torna cada vez mais necessário o desenvolvimento de aplicações para apoio às atividades de pesquisa, sobretudo no que tange à infraestrutura computacional. Dentro deste contexto, o uso de ambientes virtualizados e de nuvens computacionais podem agregar uma capacidade computacional valiosa em apoio à aplicações que necessitam de computação massivamente paralela e distribuída.

Dentro desse cenário, a tecnologia de virtualização de recursos contribui para a disseminação do paradigma de Nuvem. Isto se dá através de suas propriedades, tais como: isolamento entre as plataformas virtualizadas, permitindo que coexistam sistemas distintos hospedados em um único recurso real; a virtualização dos dispositivos de entrada e saída; a possibilidade de que essas plataformas virtualizadas possam ser migradas entre plataformas reais, permitindo a consolidação do seu uso; e o melhor gerenciamento do consumo de energia. Dessa forma, segundo [Matthews et al. 2007], [Ongaro et al. 2008] e [Yang et al. 2009], traz como benefícios:

1. A possibilidade de otimizar a utilização da infraestrutura computacional por meio do seu compartilhamento;
2. O isolamento entre ambientes criados e em execução em um mesmo recurso;
3. A possibilidade do balanceamento de carga;
4. A consolidação dos serviços; e
5. A capacidade de provisão de um ambiente dedicado para os seus usuários, no nível de plataforma e infraestrutura virtualizada.

O ambiente de aplicações científicas, além de exigir requisitos de configuração fora do escopo de conhecimento da maioria dos pesquisadores, também necessita de

conhecimentos específicos sobre como essa camada de virtualização interage com as aplicações. Surge assim a ideia da criação de ambientes virtualizados pré-configurados e dedicados à solução de problemas científicos, atendendo a estes requisitos, mitigando essas restrições e que possam se adequar as características das aplicações [Yokoyama et al. 2012b], [Yokoyama et al. 2012a], [Yokoyama et al. 2011].

O trabalho apresentado por [Huang et al. 2006] tratou de determinar quais elementos presentes na camada de virtualização impactavam na perda de desempenho para ambientes de computação massivamente paralela e distribuída e propôs soluções, muitas das quais hoje já implementadas nas novas versões de *hypervisors*.

Apesar de não ser nova a ideia da criação de ambientes dedicados ao uso de aplicações científicas em plataformas virtuais, quando associada aos novos recursos dos equipamentos agora disponíveis, ela abre perspectivas de novas pesquisas e desenvolvimento de soluções. O trabalho apresentado por [Shoop et al. 2012] procura verificar a possibilidade do uso de máquinas virtuais em laboratórios de escolas e universidades para a criação de *clusters* virtuais, voltados para o ensino de processos, procedimentos e desenvolvimento de aplicações paralelas (as máquinas virtuais possuíam Ubuntu Linux, OpenMPI, TORQUE, Hadoop e WebMapReduce) nestas instituições. O trabalho de [Hacker 2011], também apresenta uma análise sobre o uso de ambientes virtualizados, na forma de *clusters* e como estes ambientes podem ser utilizados para o ensino, desde aspectos relacionados à camada de virtualização, até a criação e uso de um *cluster*.

[Marshall et al. 2010] apresentam uma proposta de um sistema capaz de disponibilizar ambientes para o ensino da configuração de um *cluster*, sua rede e seu gerenciamento. O processo era complementado por um tutorial e um conjunto de exercícios voltados para a fixação do conhecimento. Este processo foi implementado em uma nuvem computacional, com custo orçado em U\$120,00 para 8 horas de uso.

No caso do uso de nuvens computacionais, o trabalho apresentado por [Juve and Deelman 2011] teve como objetivo disponibilizar um sistema de provisionamento de *clusters* em nuvens computacionais, para a execução de *workflows* científicos. Neste trabalho os autores avaliam os efeitos que este sistema proposto causa no tempo de provisionamento dos recursos nas nuvens públicas utilizadas. O trabalho traz, além da avaliação da proposta, uma informação importante para o caso do provisionamento em nuvem: as falhas que ocorreram em função da capacidade de administração, as dependências dos nós em função da complexidade do *cluster* configurado e da mudança das características dos nós virtuais em função as mudanças dos requisitos de uma aplicação.

Nos dois trabalhos anteriores os autores utilizaram de recursos de uma nuvem computacional para a implementação de um *cluster* virtual. Para o caso das nuvens computacionais, elas trazem à tona a possibilidade de criação e o uso de ambientes dedicados voltados para atender as necessidades imediatas dos ambientes de alto desempenho. As nuvens computacionais agregam a possibilidade de instanciação imediata de recursos virtuais, além de possibilitar que seus usuários possam executar remotamente aplicações, independente da sua plataforma, podendo utilizá-las a qualquer momento, assim como armazená-las para uso futuro, otimizando o uso dos recursos, possibilitando a estes usuários, acesso a um ambiente de alto desempenho, voltado para solução de problemas e muitas vezes proibitivos para os mesmos.

### 3. Descrição da Ferramenta N-Clusters

O foco da ferramenta N-Clusters é disponibilizar infraestrutura sob demanda (*Infrastructure as a Service - IaaS*), atendendo a demandas específicas de usuários.

Para isto, técnicas como virtualização são usadas para atender tais necessidades individuais de pesquisadores, professores e alunos da área acadêmica, bem como funcionários de pequenas e médias empresas do setor industrial. Para garantir que todos tenham acesso ao N-Clusters, ele é regido pela *GNU General Public License (GNU GPL)*, uma licença para *softwares* de código aberto, que permite o acesso destes usuários às tecnologias citadas neste trabalho.

#### 3.1. Arquitetura do N-Clusters

A figura 1 mostra como o ambiente para a utilização do N-Clusters foi elaborado, podendo esta também variar de acordo com as necessidades ou objetivos dos usuários. Para utilizar a ferramenta proposta, é preciso um conjunto de máquinas para que os *containers* possam ser criados e uma máquina para hospedar a interface *web* contida no *Live CD*. Desta forma, um conjunto de 4 máquinas permite que pesquisadores, professores e alunos possam utilizar *clusters* e exercitar suas habilidades de programação paralela.

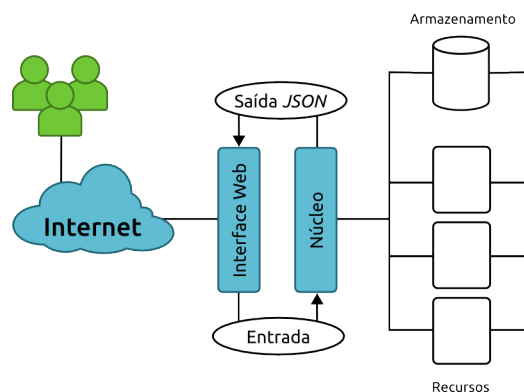


Figura 1. Iteração da interface web com o núcleo do N-Clusters

Ainda sobre a arquitetura do N-Clusters, a Interface Web é responsável por prover um ambiente gráfico intuitivo por meio de um *browser* (atendendo também a dispositivos móveis), a fim de guiar os usuários na criação de seus ambientes virtuais, na submissão de suas tarefas e na recuperação dos resultados. No caso dos administradores, prover auxílio no suporte à gerência da infraestrutura sob sua responsabilidade. Por outro lado, o núcleo do N-Clusters recebe as chamadas da interface gráfica e as executa. Ele cria, configura e inicia os *clusters* virtuais, aloca os arquivos nos dispositivos de armazenamento dos usuários, configura a infraestrutura e provê um conjunto de comandos que os administradores podem utilizar para realizar essas tarefas através de linhas de comando.

#### 3.2. Funcionalidades do N-Clusters

A ferramenta N-Clusters oferece um conjunto extenso de funcionalidades que envolvem questões como a gerência da infraestrutura, submissão de tarefas, gestão dos dados dos usuários e escalonamento, entre outras. Com o objetivo de melhor apresentar estas funcionalidades, as mesmas serão divididas de acordo com o módulo da arquitetura responsável por mantê-las.

### 3.2.1. Funcionalidades da Interface Web do N-Clusters

A interface com o usuário permite a gerência da infraestrutura através do menu *Hosts*. Este menu é dividido em três guias: listar (*List*), adicionar (*Add*) e Tecnologia da Informação Verde (*Green IT*). Com elas é possível listar e adicionar recursos disponíveis para os usuários e configurar cada recurso individualmente para que seja desligado automaticamente se não estiver em uso.

Através da guia *List* é possível que os recursos sejam ligados, desligados, colocados em modo de espera ou removidos da lista de recursos de forma simples e intuitiva. O administrador encontra nessa lista informações que fornecem uma visão de características e estados dos recursos cadastrados no N-Clusters. Dentre as informações exibidas, estão o *hostname* de um recurso, seu *status* para identificar se está ligado, desligado ou em modo de espera, o nome do usuário, além de informações sobre os recursos. A figura 2 exibe a lista dos recursos e das funções apresentadas ao administrador do N-Clusters.

List	Hostname	Status	Username	Cores	Memory (GB)	Disk (GB)	IP	Envs	Actions
+ Add	pxe084	ready	nclusters	12	32768	512000	10.11.242.84	1	[Play] [Pause] [Power] [Signal] [Close]
Green IT	ccd190	powered-off	nclusters	12	32768	512000	10.11.242.190	1	[Play] [Pause] [Power] [Signal] [Close]

© ComCIdis Team 2013

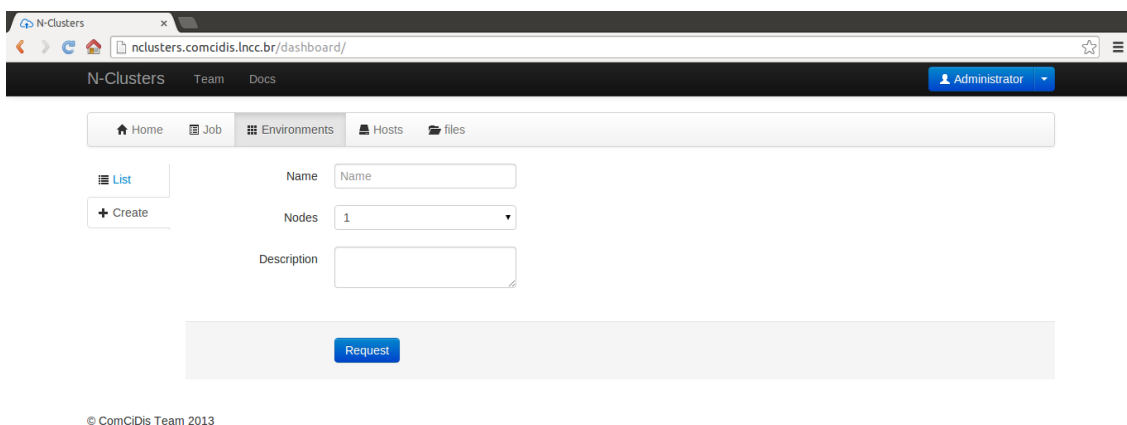
Figura 2. Lista de recursos (navegador de um Desktop)

O processo de criação de um *cluster* virtual se dá por meio de um formulário, que, após preenchido, aguarda a confirmação do administrador a fim de avaliar a real necessidade do usuário e garantir a utilização adequada da infraestrutura. Quando a autorização ocorre, o ambiente está apto a receber submissões. Este formulário contém os seguintes itens: i) nome do ambiente para facilitar a associação por parte do usuário; ii) quantidade de nós que o *cluster* virtual terá, sem contar com o nó mestre; e iii) descrição do ambiente, que é utilizado pelo usuário para informar ao administrador a finalidade do *cluster* virtual a ser criado (figura 3).

Quando o usuário submete uma tarefa, e somente neste momento, o N-Clusters cria um *cluster*. Caso essa tarefa não seja solicitada, existirá apenas um registro com as características do ambiente que o usuário requisitou. Desta forma, não há desperdício de infraestrutura enquanto uma tarefa não é solicitada, promovendo o chamado TI Verde, que sugere a redução dos gastos de energia ao poupar recursos que não são utilizados.

Para a submissão de tarefas, é necessário que o usuário possua um ambiente virtual e que este esteja apto a receber tarefas. Na especificação da submissão, além dos arquivos de código do usuário serem enviados em um formato compactado (.zip ou .tar.gz) é necessário que seja enviado e selecionado o *script* de execução para que, a partir deste, o N-Clusters execute a tarefa.

Uma tarefa não está diretamente associada a um ambiente, o que é feito no momento da execução. Quando uma tarefa é enviada, ela passa a ter um registro na base



**Figura 3. Especificação do ambiente virtual**

de dados do N-Clusters. Os arquivos são armazenados dentro da pasta do usuário com o nome da tarefa e são mantidos no servidor até o momento de sua execução. A submissão de tarefas através da interface do N-Clusters é dividida em dois passos:

- Passo 1: nome da tarefa; linguagem utilizada; ambiente em que será processada; e descrição.
- Passo 2: envio dos arquivos e *script* execução; e execução da tarefa.

### 3.2.2. Funcionalidades do Núcleo do N-Clusters

O núcleo do N-Clusters é responsável por concentrar e realizar todas as suas funcionalidades. Nele é possível efetuar as operações contidas na interface com o usuário, além de outras acessíveis apenas diretamente em seu núcleo. Para isto, é disponibilizado para os administradores o acesso às funções por meio de linhas de comando.

Para configurar o novo recurso adicionado, o N-Clusters realiza *Secure Shell* (SSH) para o novo recurso com o nome de usuário e requisita ao administrador a senha para efetuar o login. Após estabelecer a comunicação, o N-Clusters instala o LXC, pacote necessário para criação de containers, além de criar o diretório `cgroup` na raiz do sistema e de adicionar entradas no arquivo de `sudoers`, para que tenha privilégios na execução de comandos. Ao final dessa configuração, o N-Clusters realiza um *secure copy* (`scp`) para enviar ao novo *host* o arquivo com o *template* da imagem utilizada para a criação dos containers que formarão os *clusters*. Com isso o novo recurso está apto a hospedar os *clusters* virtuais e as chamadas do núcleo do N-Clusters.

Embora o foco deste trabalho não seja desenvolver um complexo sistema para escalonar as tarefas e onde melhor alocar os *containers* na infraestrutura, este é um aspecto importante para a obtenção de um bom desempenho no processamento realizado pelos *clusters* virtuais, já que se estiverem mal dispostos eles poderão aumentar o tempo de processamento das tarefas. Foi, então, desenvolvido um escalonador simples, baseado no algoritmo *Round-Robin* que tem a função manter equilibrada a criação de *clusters* virtuais na infraestrutura que o usuário dispõe.

### 3.3. *Cluster in a Box*

O *Live CD* da ferramenta N-Clusters traz uma funcionalidade chamada *cluster in a box*. Com ela, o administrador pode poupar tempo de configuração e manter inalteradas as configurações de recursos, permitindo que o Sistema Operacional (SO) do *host* não sofra mudanças. Essa funcionalidade permite adicionar *hosts* sem a necessidade de formatar o Sistema Operacional atual para instalar um sistema Linux e configurar e instalar os pacotes necessários.

### 3.4. Descrição da Demonstração da Ferramenta

A demonstração da ferramenta será conduzida de forma a utilizar a ferramenta N-Clusters para criar um ambiente de *cluster* virtual e remoto e para submeter tarefas no ambiente de alto desempenho criado. Para tal, será utilizada uma máquina cliente que acessará, através de um navegador *web*, os recursos virtuais remotos que estarão localizados no LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica).

Por razões de limitação de espaço, algumas figuras e explicações mais detalhadas sobre as funcionalidades do N-Clusters tiveram que ser omitidas deste artigo. Estas informações, no entanto, se encontram de forma completa na página *web* da documentação da ferramenta, no endereço <http://comcidis.lncc.br/nclusters> junto com o manual da ferramenta. O N-Cluster será disponibilizado para avaliação através da sua interface *web*, com o objetivo de minimizar esforços necessários relativos à instalação e configuração do ambiente local.

## 4. Conclusões e Trabalhos Futuros

A ferramenta apresentada neste artigo permite disponibilizar ambientes virtuais sob demanda, de acordo com as especificações de usuários, a fim de atender suas necessidades. Isto possibilita que, a partir desse processo, seja possível a utilização desses ambientes para submissão de tarefas, testes e simulações por parte dos usuários. A ferramenta também permite que a infraestrutura subutilizada/legada seja aproveitada como recurso para a disseminação do conhecimento e, através da administração simplificada, os usuários possam obter flexibilidade e melhor gerência dos recursos.

Como trabalhos futuros, pretende-se aperfeiçoar a capacidade de gerência da infraestrutura, de modo a se obter um maior detalhamento do monitoramento dos recursos. Planeja-se atingir essa melhora coletando informações de temperatura e rede, criando uma opção para instalar a imagem utilizada pelo servidor PXE nos recursos adicionados e agregando novos algoritmos de escalonamento para melhor alocar e distribuir os ambientes virtuais nos recursos disponíveis, permitindo: aumentar, por meio do desenvolvimento de novos algoritmos de controle, a capacidade de assessoramento no uso da infraestrutura; melhorar o algoritmo que promove a TI Verde, adicionando mais variáveis coletadas no recurso à sua avaliação, visando garantir uma melhor economia de energia e a real utilização da infraestrutura; e Agregar não somente *clusters* virtuais, mas também diversas outras formas de arquiteturas, configurações e suportes a aplicações.

A incorporação dessas novas funcionalidades à ferramenta aqui apresentada tornaria possível a utilização de GP/GPU e coprocessadores, atendendo a mais grupos de usuários, além de proporcionar as vantagens associadas à utilização dessas arquiteturas.

## Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - PCI/LNCC) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

## Referências

- Hacker, T. J. (2011). Exploring the use of virtual machines and virtual clusters for high performance computing education. In *American Society for Engineering Education*, Washington DC, USA. ASEE.
- Huang, W., Liu, J., Abali, B., and Panda, D. K. (2006). A case for high performance computing with virtual machines. In *Proceedings of the 20th annual international conference on Supercomputing*, ICS '06, pages 125–134, New York, NY, USA. ACM.
- Juve, G. and Deelman, E. (2011). Wrangler: virtual cluster provisioning for the cloud. In Maccabe, A. B. and Thain, D., editors, *HPDC*, pages 277–278. ACM.
- Marshall, P., Oberg, M., Rini, N., Voran, T., and Woitaszek, M. (2010). Virtual clusters for hands-on Linux cluster construction education. In *11th LCI International Conference on High-Performance Clustered Computing*, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Matthews, J. N., Hu, W., Hapuarachchi, M., Deshane, T., Dimatos, D., Hamilton, G., and McCabe, M. (2007). Quantifying the performance isolation properties of virtualization systems. In *Experimental computer science on Experimental computer science*, ecs'07, pages 5–5, Berkeley, CA, USA. USENIX Association.
- Ongaro, D., Cox, A. L., and Rixner, S. (2008). Scheduling i/o in virtual machine monitors. In *Proceedings of the fourth ACM SIGPLAN/SIGOPS international conference on Virtual execution environments*, VEE '08, pages 1–10, New York, NY, USA. ACM.
- Shoop, E., Brown, R., Biggers, E., Kane, M., Lin, D., and Warner, M. (2012). Virtual clusters for parallel and distributed education. In *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*, SIGCSE '12, pages 517–522, New York, NY, USA. ACM.
- Yang, C.-T., Tseng, C.-H., Chou, K.-Y., and Tsaur, S.-C. (2009). A virtualized hpc cluster computing environment on xen with web-based user interface. In Zhang, W., Chen, Z., Douglas, C. C., and Tong, W., editors, *HPCA (China)*, volume 5938 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 503–508. Springer.
- Yokoyama, D., Dias, V., Kloh, H., Bandini, M., Porto, F., Schulze, B., and Mury, A. (2012a). The impact of hypervisor layer on database applications. In *Utility and Cloud Computing (UCC), 2012 IEEE Fifth International Conference on*, pages 247–254.
- Yokoyama, D., Kloh, H., Schulze, B., and Mury, A. (2011). A hybrid virtualized environment for clouds. In *Proceedings of the Workshop on Posters and Demos Track*, PDT '11, pages 14:1–14:2, New York, NY, USA. ACM.
- Yokoyama, D., Kloh, H., Schulze, B., and Mury, A. (2012b). Virtualization strategies evaluation based on applications sets for scientific clouds. In *SBRC Workshop of Clouds and Grids Applications 2012*. SBC.