

**MAURO HINZ**

**Virtual Power: Um modelo de custo baseado no  
consumo de energia do processador por máquina virtual  
em nuvens IaaS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Maurício Aronne Pillon  
Coorientador: Charles Christian Miers.

**JOINVILLE, SC**  
2015

## FICHA CATALOGRÁFICA

H666v

Hinz, Mauro

Virtual power: um modelo de custo baseado no consumo de energia do processador por máquina virtual em nuvens IaaS / Mauro Hinz. – 2015.  
98 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Maurício Aronne Pillon

Coorientador: Charles Christian Miers

Bibliografia: p. 91-98

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Joinville, 2015.

1. Processador 2. Recursos computacionais. 3. Bare-met. 4. Computação em nuvem. I. Pillon, Maurício Aronne. II. Miers, Charles Christian. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada. IV. Título.

CDD 004.6782 – 23. ed.

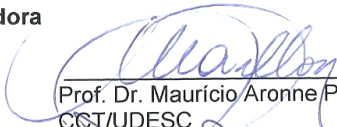
**MAURO HINZ**

**VIRTUAL POWER: UM MODELO DE CUSTO BASEADO NO  
CONSUMO DE ENERGIA DO PROCESSADOR POR MÁQUINA  
VIRTUAL EM NUVENS IAAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico  
Computação Aplicada como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre em Computação Aplicada na área de  
concentração “Ciência da Computação”.

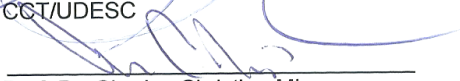
**Banca Examinadora**

Orientador:




\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Maurício Aronne Pillon  
CCT/UDESC

Coorientador:



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Charles Christian Miers  
CCT/UDESC

**Membros**



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Omir Correia Alves Junior  
CCT/UDESC



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mehran Misaghi  
UNISOCIESC

**Joinville, SC, 29 de setembro de 2015.**



*Este trabalho é dedicado à minha esposa Roberta Tomasi Pires Hinz  
e aos meus filhos Bianca e Gustavo, minhas principais razões para  
persistir e prosseguir.*



---

## Agradecimentos

Agradeço a minha esposa e filhos pelo apoio incondicional desde o início desse trabalho, e também, a IBM que apoiou quando precisei me dedicar à pesquisa científica. Aos professores do Departamento de Ciências da Computação da UDESC Joinville, em especial aos meus orientadores, Maurício Aronne Pillon e Charles Christian Miers, pelo aprendizado e pela confiança depositada. Ao professor Sérgio Vidal Garcia Oliveira do Departamento de Engenharia Elétrica da UDESC Joinville pelo apoio nas dúvidas sobre o comportamento do consumo elétrico.





*“Menor que meu sonho não posso ser.”  
(Lindolf Bell)*



# RESUMO

A terceirização dos serviços de computação tem passado por evoluções constantes nos últimos anos em função do contínuo aumento na demanda por recursos computacionais. Neste sentido, os *data centers* são os principais fornecedores de serviço de computação e os serviços de computação em nuvem proporcionam um novo paradigma na oferta e consumo desses recursos computacionais. Um considerável motivador do uso das nuvens computacionais é o seu modelo de tarifação que possibilita a cobrança do cliente somente dos recursos que ele utilizou, adotando um modelo de custo do tipo *pay-as-you-use*. Dentre os serviços de computação em nuvem, o serviço do tipo IaaS (*Infrastructure-as-a-Service*) é um dos mais utilizados por empresas que desejam terceirizar a sua infraestrutura computacional. O serviço de IaaS, na grande maioria dos casos, é ofertado através de instâncias de máquinas virtuais. O presente trabalho revisita os modelos de custos empregados em *data centers* analisando a formação dos custos no fornecimento de máquina virtuais em nuvens baseadas em IaaS. Com base nesta análise identifica-se que a energia elétrica possui uma parcela considerável deste custo e que boa parte deste consumo é proveniente do uso de processadores pelas máquinas virtuais, e que esse aspecto não é considerado nos modelos de custos identificados. Este trabalho descreve o Modelo Virtual Power, um modelo de custo baseado no consumo de energia do processador por máquina virtual em nuvens IaaS. A constituição do modelo está baseada nas premissas de consumo de energia *vs.* carga de processamento, entre outros, que são comprovados através de experimentação em um ambiente de testes em um *data center* de pequeno porte. Como resultado o Modelo Virtual Power mostra-se mais justo na precificação dos recursos consumidos do que os modelos identificados. Por fim, é realizado um estudo de caso comparando os custos tarifado a um cliente empregando o modelo de custo da Amazon no serviço AWS EC2 e o mesmo serviço tarifado utilizando o Modelo Virtual Power.

**Palavras-chaves:** Processador, Recursos Computacionais, *Bare-Metal*, *Data Center*, Computação em Nuvem, Modelo de Consumo Elétrico, Modelo de Custo, Máquinas Virtuais.



# ABSTRACT

The outsourcing of computing services has been through constant evolutions in the past years, due to the increase of demand for computing resources. Accordingly, data centers are the main suppliers of computing service and cloud-based computing services provide a new paradigm for the offer and consumption of these computing resources. A substantial motivator for using cloud computing is its pricing model, which enables to charge the customer only for the resources he used, thus adopting a pay-as-you-use cost model. Among cloud-based computing services, the service type Infrastructure-as-a-Service (IaaS) is the one mostly used by companies that would like to outsource their computing infrastructure. The IaaS service, in most cases, is offered through virtual machines. This paper revisits the cost models used by data centers and analyses the costs of supply of virtual machines based on IaaS. This analysis identifies that electricity represents a considerable portion of this cost and that much of the consumption comes from the use of processors in virtual machines, and that this aspect is not considered in the identified cost models. This paper describes the Virtual Power Model, a cost model based on energy consumption of the processor in cloud-based, virtual machines in IaaS. The model is based on the assumptions of energy consumption vs. processing load, among others, which are proven through experiments in a test environment of a small data center. As a result, the Virtual Power Model proves itself as a fairer pricing model for the consumed resources than the identified models. Finally, a case study is performed to compare the costs charged to a client using the cost model of Amazon for the AWS EC2 service and the same service charged using the Virtual Power Model.

**Key-words:** Processor, Computing Resources, Bare-Metal, data center, Cloud Computing, Electrical Consumption Model, Cost Model and Virtual Machines.



---

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Fontes de consumo de energia de um <i>data center</i> . Adaptado de (ENP, 2008). . . . .	33
Figura 2 – Características essenciais, modelos de serviço e modelos de implantação para computação em nuvem segundo o NIST. Adaptado de (MELL; GRANCE, 2011). . . . .	37
Figura 3 – Quadrante dos principais fornecedores de serviço IaaS para computação na nuvem. Fonte: Gartner: <i>Magic Quadrant for Cloud Infrastructure as a Service</i> , relatório mundial Lydia Leong et al., publicado em 18 de maio de 2015. . . . .	40
Figura 4 – <i>Hypervisor</i> do tipo I, também denominado como nativo ou <i>bare metal</i> , é instalado diretamente no <i>hardware</i> . Fonte: produção do próprio autor. . . . .	48
Figura 5 – Componentes do consumo elétrico no ambiente virtualizado do tipo I. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	48
Figura 6 – Componentes do consumo elétrico no ambiente virtualizado do tipo I adaptado ao modelo de custo Virtual Power. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	50
Figura 7 – Uso dos processadores pelas vCPUs das máquinas virtuais. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	51
Figura 8 – Esquema dos componentes do ambiente de teste. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	63
Figura 9 – Ambiente de testes. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	65
Figura 10 – Ambiente de teste para medir o consumo elétrico mínimo e máximo. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	66

Figura 11 – Ambiente de teste para medir o consumo elétrico. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	68
Figura 12 – Consumo de energia <i>versus</i> taxa de utilização do processador - Cenário 2-1. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	72
Figura 13 – Consumo de energia <i>versus</i> taxa de utilização do processador - Cenário 2-2. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	72
Figura 14 – Consumo de energia <i>versus</i> taxa de utilização do processador - Cenário 2-3. . . . .	73
Figura 15 – Consumo de energia <i>versus</i> taxa de utilização do processador - Cenário 2-4. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	74
Figura 16 – Consumo de energia <i>versus</i> tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-1. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	75
Figura 17 – Consumo de energia <i>versus</i> tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-2. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	75
Figura 18 – Consumo de energia <i>versus</i> tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-3. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	76
Figura 19 – Consumo de energia <i>versus</i> tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-4. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	77
Figura 20 – Pontos de equilíbrio de custo em dólar americano aplicados aos modelos de custo Virtual Power e AWS no hospedeiro Superserver 24 vCPUS e AWS EC2 com instância m4.4xlarge com 16 vCPUS. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	83
Figura 21 – Tarifador para a ambiente virtualizado ( <i>bare metal</i> ). Fonte: produção do próprio autor. . . . .	90



---

## Lista de tabelas

Tabela 1	– Níveis para a elaboração e construção de um <i>data center</i> . Fonte [ANSI/TIA/EIA-942] (WINTER, 2009)	30
Tabela 2	– Aspectos da tarifação da VM em provedores IaaS. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	41
Tabela 3	– Modelos de custo existentes versus Virtual Power. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	57
Tabela 4	– Coleta de dados do consumo hospedeiro HP - I. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	79
Tabela 5	– Coleta de dados de consumo hospedeiro HP - II. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	79
Tabela 6	– Coleta de dados de consumo hospedeiro HP - III. Fonte: produção do próprio autor. . . . .	80



---

## Lista de abreviaturas e siglas

ASP	<i>Application Service Provider</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
Dom0	Abreviatura de “ <i>Domain 0</i> ”
DomU	<i>Unprivileged Domains</i>
CSP	<i>Cloud Service Providers</i>
ECU	<i>EC2 Compute Unit</i>
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
IDC	<i>Internet Data Center</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
MMV	<i>Monitor de Máquinas Virtuais</i>
PaaS	<i>Platform as a Service</i>
PDC	<i>Private Data Center</i>
PDU	<i>Power Distribution Unit</i>
RRA	<i>Round Robin Archive</i>
RRD	<i>Round Robin Database</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>

SaaS	<i>Software as a Service</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SSH	<i>Secure Shell</i>
SPI	<i>Acronym for SaaS, PaaS and IaaS</i>
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
vCPU	<i>Virtual CPU</i>
VM	<i>Virtual Machine</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação teórica . . . . .</b>	<b>27</b>
2.1	<i>Data centers</i> . . . . .	28
2.1.1	Norma ANSI/TIA/EIA-942 . . . . .	29
2.1.2	Modelos de serviços . . . . .	31
2.1.3	Principais custos do <i>data center</i> . . . . .	32
2.1.4	Modelos de custo no <i>data center</i> . . . . .	34
2.2	Computação em nuvem . . . . .	35
2.2.1	Contexto histórico . . . . .	36
2.2.2	Características da computação em nuvem . . . . .	36
2.2.3	Recursos de <i>software</i> compartilhados e não compartilhados na máquina virtual . . . . .	38
2.2.4	Modelos de custo na computação em nuvem . . . . .	39
2.3	<i>Data center</i> tradicional <i>versus</i> computação em nuvem . . . . .	42
2.4	Considerações parciais . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Modelo de custo Virtual Power . . . . .</b>	<b>45</b>
3.1	O ambiente virtualizado . . . . .	46
3.2	Modelo de custo Virtual Power . . . . .	50
3.3	Modelos de custo existentes <i>versus</i> Modelo Virtual Power . . . . .	55
3.4	Considerações parciais . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Experimentação, resultados e análise dos resultados</b>	<b>61</b>
4.1	Descrição do ambiente de testes . . . . .	61
4.1.1	Calibragem do ambiente de teste . . . . .	66
4.2	Definição do ambiente de experimentação . . . . .	69
4.2.1	Descrição dos experimentos . . . . .	70
4.2.2	Limitações do ambiente de experimentação . . . . .	71
4.3	Experimentação e resultados . . . . .	71
4.3.1	Consumo mínimo de energia por hospedeiro . . . . .	71
4.3.2	Consumo energia <i>vs.</i> taxa de utilização do processador . . . . .	71

4.3.3	Consumo de energia <i>vs.</i> taxa de utilização de E/S por máquina virtual . . . . .	74
4.4	Análise dos resultados . . . . .	77
4.4.1	Consumo mínimo de energia por hospedeiro . . . . .	77
4.4.2	Consumo energia <i>vs.</i> taxa de utilização do processador . . . . .	78
4.4.3	Consumo de energia <i>vs.</i> taxa de utilização de E/S por máquina virtual . . . . .	78
4.4.4	Comportamento do consumo elétrico pelas máquinas virtuais no hospedeiro . . . . .	78
4.5	Estudo de caso . . . . .	80
4.5.1	Modelo Virtual Power <i>vs.</i> Precificação do serviço AWS EC2 . . . . .	81
4.6	Considerações parciais . . . . .	84
<b>5</b>	<b>Considerações Finais . . . . .</b>	<b>87</b>
5.1	Contribuições . . . . .	88
5.2	Trabalhos futuros . . . . .	89
<b>Referências . . . . .</b>		<b>91</b>

## Introdução

A demanda por serviços de computação está em contínuo aumento no decorrer das últimas décadas. As organizações e pessoas possuem necessidades crescentes por recursos computacionais para realizar as suas atividades profissionais e pessoais. Neste contexto, a forma como os recursos computacionais são ofertados e consumidos está em contínua evolução (SHIJA et al., 2014).

É fato que, cada vez mais, os recursos computacionais (e.g., armazenamento de dados e processamento) estão saindo das casas / organizações e sendo disponibilizados em locais remotos como nuvens computacionais. As nuvens computacionais fornecem um modo automatizado e facilitado de ofertar, consumir e pagar pelos recursos computacionais utilizados por seus usuários. Contudo, além destas características, as nuvens computacionais oferecem o serviço usando um modelo de tarifação no qual o cliente (organização ou pessoa) paga somente pelo que utilizou (também conhecido como *pay-as-you-use*). Esse modelo de tarifação não é inovador, já sendo empregado na oferta de recursos básicos como: fornecimento de água e energia elétrica (TANG et al., 2014). Entretanto, a adoção desta abordagem de tarifação para recursos computacionais assinala um novo paradigma na forma de provê-los, consumi-los e tarifá-los. Fornece, também, um incentivo para que esse tipo de serviço seja utilizado de forma mais frequente e contínua como solução para satisfazer a necessidade por recursos computacionais.

Os serviços de computação em nuvem são, tipicamente, fornecidos por um conjunto de *data centers* que são projetados para fornecer os recursos computacionais de forma comoditizada. Os *data centers* já oferecem serviços de computação desde os anos 80. Sendo assim,

os elementos necessários para fornecer os recursos computacionais e tarifá-los já vem sendo objeto de estudos a um tempo considerável. Recentemente, esses estudos ganharam mais intensidade em um custo do *data center* que está diretamente relacionado a formação dos seus custos: a energia elétrica (SRINIVASAN et al., 2012).

O consumo de energia elétrica do *data center* ganhou importância por diversas razões, entre elas: questões ambientais e aumento do valor de tarifação da energia elétrica. No *data center*, o consumo de energia elétrica é tipicamente dividido em dois grupos: consumo da infraestrutura geral do *data center* e consumo diretamente relacionado aos equipamentos relacionados a oferta dos recursos computacionais (e.g., servidores de processamento, dispositivos de armazenamento, redes, ...). Mais especificamente, o consumo de energia elétrica decorrente do uso de processadores dos servidores figura entre um dos principais consumidores deste grupo. Constatase, então, que as nuvens computacionais incorporam no seu conjunto de questões a serem tratadas os problemas dos *data centers* (ENP, 2008; COROAMA; HILTY, 2009; SHIJA et al., 2014).

No caso das organizações, um dos serviços mais simples de migrar da sua estrutura interna para uma nuvem computacional são as máquinas virtuais (VM - *Virtual Machine*). Essa migração, também chamada de terceirização de recursos computacionais, é a mais comum de ocorrer quer por muitas empresas já possuírem seus serviços no formato de máquinas virtuais ou por ser simples transformar um servidor tradicional em uma máquina virtual. Em nuvens computacionais o modelo de serviço que oferece recursos computacionais de virtualização é o IaaS.

Dentre os provedores de computação em nuvem comerciais que mais se destacam está a Amazon, com uma variedade de serviços computacionais (e.g., AWS EC2 para serviços de processamento baseado em VMs, AWS S3 para serviços de armazenamento, etc.). A Amazon é um provedor de computação em nuvem que oferta os seus recursos computacionais dentro de todas as premissas de uma nuvem computacional, servindo como referência para vários outros provedores de nuvem quanto a forma de ofertar os seus serviços e como tarifá-los. Contudo, observando a tarifação de uma máquina virtual no serviço AWS EC2 da Amazon, pode-se constatar que o valor da tarifação não se altera conforme a carga de processamento submetida. Isto é, se uma máquina virtual está usando 5% ou 100% do processador o valor tarifado permanece constante. A Amazon usa como medida para tarifação dos seus recursos o tempo de uso da máquina virtual e a sua configura-



ção (e.g., quantidade de processadores, quantidade de armazenamento, dados trafegados, etc.). Sendo o processador de um computador um dos principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica, é evidente a necessidade de um modelo de custo que considere o uso da energia elétrica das máquinas virtuais na composição do custo.

O objetivo deste trabalho, e sua contribuição principal, é o Modelo Virtual Power. O Modelo Virtual Power é um modelo de custo baseado no consumo de energia do processador por máquina virtual em nuvens IaaS. O Modelo Virtual Power foi desenvolvido para permitir identificar a composição do consumo de energia elétrica em um servidor que hospeda máquinas virtuais para que possa ser empregado em mecanismos de tarifação. A análise desta composição permite identificar quanto de energia é consumida pela parte administrativa comum do servidor e o consumo de energia específico por uma máquina virtual. Sendo assim, a motivação deste modelo é que uma máquina virtual que utilize menos recursos computacionais de um servidor em um provedor de nuvem (i.e., processador) pague menos do que uma outra máquina virtual que consuma mais destes recursos.

O método adotado para desenvolver o Modelo Virtual Power é de pesquisa aplicada, pois utiliza de dados coletados em laboratório para aplicar no modelo de custo proposto. O Capítulo 2 contém uma pesquisa referenciada sobre aspectos de *data center*, virtualização de serviços computacionais e modelos de custo existentes desse tipo de serviço. As informações levantadas permitem relacionar os aspectos que são considerados em modelos de custos empregados por *data centers* tradicionais (que não ofertam serviços na nuvem) e *data center* empregados por provedores de computação em nuvem. O Capítulo 3 inicia com uma pesquisa referenciada sobre virtualização e conceitos relacionados. A forma como uma máquina virtual opera implica diretamente no modo que ela consome energia elétrica no computador hospedeiro. Na sequência, os aspectos de como a virtualização ocorre são empregados para identificar o consumo de energia oriundo de processamento administrativo comum que deve ser rateado entre todas as máquinas virtuais em um mesmo hospedeiro e o consumo de energia específico de uma máquina virtual específica. No capítulo 2 também são definidas as premissas e hipóteses para operação do Modelo Virtual Power. Com a finalidade de verificar todas as premissas necessárias para o uso do Modelo Virtual Power, no Capítulo 4 são descritos, executados e analisados vários experimentos em cenários selecionados para comprovar as hipóteses e definir as premissas definidas no Capítulo 3. Neste capítulo foi incluído um estudo de caso com o serviço AWS EC2 da Amazon

para exemplificar o impacto do uso da tarifação empregando o Modelo Virtual Power e usando o método de tarifação tradicional da Amazon. Os resultados do estudo de caso são analisados e permitem identificar claramente uma diferenciação no custo da máquina virtual para um cliente de acordo com o uso do processador em uma mesma instância. Por fim, o Capítulo 5 contém um relato das principais considerações sobre o modelo proposto e o estudo de caso, assim como listas as contribuições deste trabalho e as propostas para trabalhos futuros.

## Fundamentação teórica

O modo como os recursos computacionais são disponibilizados e comercializados passou por diversas mudanças, desde os prédios com *mainframes* da década de 1970 até os modernos *data centers* repletos de servidores, *blade servers* e vários outros recursos dos dias atuais (KANT, 2009). Muitas destas mudanças são provenientes da evolução tecnológica dos computadores, redes de computadores, etc. Contudo, o modo como os recursos computacionais são ofertados e consumidos introduziu um novo paradigma nesta área através da computação em nuvem. A computação em nuvem possibilitou um modo mais granularizado de consumo dos recursos computacionais ao mesmo que tempo em que a contabilidade e cobrança por estes serviços se tornou mais precisa. Neste sentido, foram desenvolvidos diversos modelos de serviço para oferecer serviços de computação que, por consequência, possuem modos de averiguar quanto dos recursos foram consumidos (contabilização) a fim de efetuar a cobrança.

Este capítulo apresenta uma revisão referenciada sobre *data centers*, como são classificados, quais modelos de serviço são utilizados, quais custos compõem o *data center* e apresenta os mecanismos para mensuração e acompanhamento de custos ROI e TCO. Na sequência é introduzida a definição de computação em nuvem, suas características, recursos de *software* compartilhados e não compartilhados e os principais modelos de custo utilizados na nuvem. Por fim, são listados e definidos os modelos de custo existentes nos principais provedores de nuvem, uma vez que são de fundamental importância para o entendimento deste trabalho.

## 2.1 Data centers

Desde a última década, os *data centers* passaram a fazer parte das atividades de todas as organizações, seja de forma direta ou indireta. Os segmentos que mais utilizam estes ambientes são: financeiro, *e-commerce*, provedores de *internet*, telefonia, agências de governo, *commodities*, educação e saúde. Com o avanço da sociedade moderna no setor tecnológico, serviços básicos e essenciais são, em sua grande maioria, cobrados dos usuários de forma detalhada. O modelo de pagamento é baseado no uso, ou seja, o valor a ser pago pelo usuário é proporcional à quantidade de serviço utilizado (CHEN et al., 2014).

A forma mais comum de organizar os recursos computacionais para ofertá-los é através de *data centers*. O *data center* é um ambiente projetado para abrigar servidores e outros componentes, como sistemas de armazenamento de dados e dispositivos de rede. Seu objetivo é garantir a disponibilidade de equipamentos que executem sistemas para uma organização, garantindo assim a continuidade do negócio (WINTER, 2009). Algumas definições para *data center*:

- Uma modalidade de serviço de valor agregado que oferece recursos de processamento e armazenagem de dados em larga escala, segurança de alto nível e flexibilidade no que se trata em *hardware* e *software* para armazenamento de informações (RAICIU et al., 2011);
- Uma estrutura física, sendo uma sala ou edifício, projetado para abrigar uma variedade de recursos que fornecem armazenamento e gerenciamento de equipamentos de rede, servidores e telecomunicação (GOIRI et al., 2013); e
- Um ambiente especializado para hospedagem de recursos computacionais, equipamentos de armazenamento de dados e processamento de dados, e sistemas combinados de rede, como roteadores, *switches*, preocupação com redundância, escalabilidade e segurança (CHEN et al., 2014).

Para esse trabalho, *data center* é definido como um ambiente especializado para hospedagem de recursos computacionais e equipamentos de armazenagem de dados, possibilitando o processamento de dados, combinação de sistemas de rede, redundância de alimentação elétrica, escalabilidade e segurança de dados. Seu funcionamento requer energia e refrigeração para manter uma temperatura estável e sua construção deve seguir o padrão [ANSI/TIA/EIA-942]. O provedor

do *data center* pode, ou não, oferecer seus serviços a terceiros. Assim, existem duas modalidades principais de *data center* quanto a quem eles fornecem serviços:

- *Data Center Privado (PDC)*: Os *data centers* dessa categoria pertencem e são operados por corporações, instituições ou agências governamentais, com a finalidade de armazenarem dados de processamentos internos e, também para serem utilizados em aplicações voltadas à *internet* (ARMBRUST et al., 2010); e
- *Internet Data Center (IDC)*: Esses são gerenciados por um provedor de serviços fornecendo serviços de hospedagem de sites e de equipamentos de empresas, bem como serviços de conexão com a *internet*, armazenamento de conteúdo, entre outros (WOOD et al., 2009).

O IDC foi o modelo de *data center* escolhido para desenvolver este trabalho, pois é através dele que a oferta de serviços para clientes externos é disponibilizada. Também há mais fornecedores para a prestação desse tipo de serviço, o que gera uma forte concorrência na área e consequentemente aumenta a necessidade de melhorar o serviço prestado para o cliente.

Para o IDC fornecer serviços de qualidade, o *data center* precisa ser montado em um ambiente protegido, livre de agentes externos, e/ou internos, que possam prejudicar, ou até mesmo interromper, o seu funcionamento. Para tanto, é preciso observar alguns cuidados importantes na elaboração de um projeto, como: estudo de espaço e *layout*, ambiente seguro, monitoramento e controle de acesso, redundância de alimentação elétrica, climatização, segurança de dados, cabeamento para dados de alto desempenho entre outros tantos itens. Com a finalidade de criar um padrão que auxilie no projeto e na construção de um *data center* foi elaborado a norma ANSI/TIA/EIA-942.

### 2.1.1 Norma ANSI/TIA/EIA-942

O Instituto *Uptime* localizado nos Estados Unidos é uma organização fundada em 1993 com foco em promover o aumento da confiabilidade e da disponibilidade de *data centers*. Uma de suas principais contribuições foi a criação da classificação destes ambientes em níveis (*tiers*) que originou a norma [ANSI/TIA/EIA-942]. A separação em *Tiers* (níveis) é feita de acordo com a disponibilidade esperada, considerando o tempo de parada do sistema durante o ano. A Tabela 1

contém uma listagem dos níveis, sua disponibilidade e seus respectivos requisitos (WINTER, 2009).

Tabela 1 – Níveis para a elaboração e construção de um *data center*.  
Fonte [ANSI/TIA/EIA-942] (WINTER, 2009)

<i>Tier</i>	Disponibilidade	Requisitos
1	99,67% Limite de 28.8hs interrupção/ano	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Básico;</li> <li>● Caminho único para energia e refrigeração, sem componentes redundantes;</li> <li>● Opcionais: piso elevado / <i>no-break</i> / gerador; e</li> <li>● Disrupção por atividades não planejadas e planejadas (ex.: Manutenção).</li> </ul>
2	99,741% Limite de 22hs interrupção/ano	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Componentes Redundantes;</li> <li>● Caminho único para energia e refrigeração, mas com componentes redundantes (N+1);</li> <li>● Obrigatórios: piso elevado / <i>no-break</i> / gerador; e</li> <li>● Disrupção por atividades não planejadas e planejadas (ex.: Manutenção).</li> </ul>
3	99,982% Limite de 1.6hs interrupção/ano	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Múltiplos caminhos para energia e refrigeração, porém apenas 1 ativo, com componentes redundantes (N+1);</li> <li>● Disrupção por atividades não planejadas; e</li> <li>● Manutenção não implica em parada total do <i>data center</i>.</li> </ul>
4	99,995% Limite de 0.4hs interrupção/ano	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Múltiplos caminhos ativos para energia e refrigeração, com componentes redundantes 2(N+1);</li> <li>● Múltiplos caminhos para energia e refrigeração, porém apenas 1 ativo, com componentes redundantes (N+1); e</li> <li>● Deve impedir disrupção por atividades não planejadas e planejadas.</li> </ul>

Através da Tabela 1 é possível constatar que há caminhos únicos, ou múltiplos, para a energia e refrigeração dependendo do o nível do *data center*. Quanto maior for o nível de um *data center*, maior é a preocupação em manter o fornecimento ininterrupto de energia elétrica. Neste modelo, o cliente deve escolher um tipo de *data center* que atenda suas necessidades de aplicações. O aspecto mais evidente de um *data center* é o conjunto de classes e tipos de recursos que são disponibilizados aos clientes. Esta decisão é, usualmente, empregada para nortear a organização interna de um *data center* e, também, irá definir os modelos de serviço que serão ofertados aos clientes. Muitos destes clientes são organizações que, por diversos motivos, preferem alocar recursos computacionais de terceiros em detrimento de recursos próprios. Essa abordagem faz parte de um conceito de terceirização de TI e que levou aos IDCs disponibilizarem os seus recursos através de diferentes modelos de serviço.

### 2.1.2 Modelos de serviços

A terceirização é uma tendência no mercado de TI. Processos como a transferência de aplicativos, infraestrutura e organização de um provedor de recursos externos são exemplos dessa terceirização. Ela abrange desde os mais simples processos, aplicativos e infraestrutura em TI, aos mais sofisticados. (GARG et al., 2014). As razões para buscar a terceirização de recursos computacionais são diversas, entre elas:

- Auxiliar na redução e controle de custos operacionais;
- Melhorar o foco e o desempenho da empresa; e
- Ter acesso a recursos que exige conhecimentos específicos, tão bem como a redução de risco de violação da segurança de seus dados.

Assim, a medida que as organizações estão se tornando dependentes de TI, a necessidade de controlar custos operacionais tem se tornado significativa quando considerado o orçamento corporativo. Por conseguinte, a terceirização de TI é uma alternativa interessante (GARG et al., 2014). Os modelos de terceirização mais comuns são (IQ-BAL; MOLLOY; SMADI, 2011):

- Hospedagem de servidores (*Colocation Service Provider*): Os serviços de *colocation* são dedicados a empresas que desejam terceirizar o gerenciamento e infraestrutura de TI. O *hardware* é fornecido pelo cliente ao *data center*, porém um conjunto de serviços que envolve gerenciamento de atualizações, análise de riscos, estudo de *upgrade* de *hardware* e *software*, desempenho e *backup* diário de todos os seus servidores e equipamentos de TI, entre outros, são disponibilizados pelo provedor;
- Aluguel de servidores (*Managed Services Provider*): O *hardware* é fornecido pelo *data center* ao cliente e um conjunto de serviços que envolve gerenciamento de atualizações, análise de riscos, estudo de *upgrade* de *hardware* e *software*, desempenho e *backup* diário de todos os seus servidores e equipamentos de TI, entre outros, são disponibilizados pelo provedor; e
- Hospedagem de aplicações *WEB* (*Application Service Provider – ASP*): Também conhecida por ASP. Essa é a denominação dada ao *data center* que disponibiliza serviços ou aplicações com base na *WEB*.

Estes modelos de serviço foram extensivamente explorados, e na última década, os *data centers* passaram por uma mudança de paradigma. O modelo clássico de “eu recebo o que eu pago” está migrando para “eu pago o que eu recebo”, evidenciando a comoditização dos recursos computacionais como já ocorreu com a energia elétrica (SRINIVASAN et al., 2012; TANG et al., 2014). Entretanto, essa mudança de paradigma requer o aprimoramento dos mecanismos de mensuração de custos dentro dos *data centers* e também a adequação da forma de contabilização e cobrança dos seus clientes.

### 2.1.3 Principais custos do *data center*

Os custos podem ser classificados de diversas maneiras e, também, de acordo com as suas finalidades. Quanto ao volume de produção, os custos são classificados em fixos e variáveis. Despesas, ou custos fixos, são aquelas que não sofrem alteração de valor em caso de aumento, ou diminuição, da produção. Esses custos independem, portanto, do nível de atividade, e são também conhecidos como custo de estrutura. Custos, ou despesas variáveis, são aqueles que variam proporcionalmente ao nível de produção, ou atividades, e seus valores dependem diretamente do volume produzido, ou volume de vendas efetivado, em um determinado período.

Os custos fixos depreciam ao longo do tempo sendo que a determinação do período de depreciação é de responsabilidade do gestor do investimento, tais como *hardware*, dispositivos de rede, licenças de *software* e os equipamentos de refrigeração. Os custos variáveis são calculados mensalmente, tais como: consumo elétrico, refrigeração, suporte corretivo ao *hardware*, ao *software* e a transferência de dados. Entre os custos diretos e indiretos envolvidos na composição de custos fixos e variáveis de um *data center* se destacam (VASCONCELLOS; GARCIA, 2004; ENP, 2008):

- Equipamentos: ar-condicionado, servidores, roteadores, *switches*, sensores, *no-breaks*, geradores;
- Infraestrutura: *racks*, cabeamento;
- Equipe: manutenção, suporte, administrativa; e
- Serviços: *software*, manutenções diversas, energia, água, combustível.

Dentre os custos supracitados, o consumo de energia elétrica tem recebido considerável atenção na última década. Esse consumo



pode causar impacto ambiental e gastos financeiros, por isso, tornou-se uma das maiores preocupações dos *data centers* (MACH; SCHIKUTA, 2011).

Levantamentos feitos em vários *data centers*, de médio porte nos EUA, revelam como usualmente está distribuído o consumo de energia em um *data center* (ENP, 2008). A Figura 1 identifica essa distribuição, nomeando quanto proporcionalmente cada parte do *data center* consome do total de energia utilizada. Constatase que a maior parte do consumo de energia elétrica do *data center* está relacionada aos equipamentos de TI. Entre esses equipamentos de TI, o que mais consumiu energia foi o processador (ENP, 2008; COROAMA; HILTY, 2009).

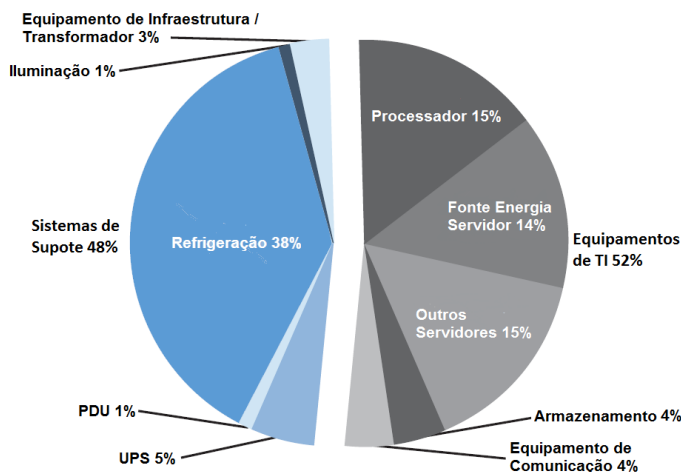


Figura 1 – Fontes de consumo de energia de um *data center*. Adaptado de (ENP, 2008).

Na Figura 1 o consumo de energia dos equipamentos de TI é responsável por 52% da energia utilizada pelo *data center*. Outras pesquisas também indicam que a maior parte do consumo de energia dos equipamentos de TI é oriundo dos servidores (ENP, 2008; COROAMA; HILTY, 2009; SHIJA et al., 2014).

Para diminuir o consumo elétrico, e o espaço ocupado, os *data centers* começaram a utilizar a virtualização. Essa solução permite que múltiplas aplicações sejam executadas em um mesmo servidor, o que traz redução de espaço físico utilizado e, também, redução de energia elétrica consumida para manter o servidor ligado e para refrigerar o am-

biente em que ele se encontra (CAVALCANTE; ARAÚJO; MENEZES, 2015). Os principais benefícios advindos da utilização da virtualização:

- Menor aquecimento e maior economia de energia, redução de custos de aquisição e de espaço físico, menor tempo de parada em manutenções programadas e rápida recuperação de falhas, *backup* otimizado e recuperação de desastres; e
- Provisionamento rápido de novos aplicativos e servidores, independência de fornecedor, automatização de processos e contabilização de recursos e migração para a computação em nuvem simplificada.

Os *data centers* repassam o custo com este insumo para os serviços oferecidos, que por sua vez é de alguma forma refletivo no valor que o serviço é oferecido aos clientes. Este repasse depende de como o custo com energia elétrica é dividido no modelo de custo utilizado pelo *data center*.

#### 2.1.4 Modelos de custo no *data center*

Os modelos para mensuração e acompanhamento de custos são úteis em qualquer negócio, tendo em vista que um dos pilares de uma boa administração é o planejamento dos custos. Para mensuração de custos no *data center* há dois modelos principais. O primeiro modelo é utilizado na implantação para atender os investidores que buscam ao longo de um período de investimento retorno financeiro, e isso é conhecido como ROI. O segundo modelo é conhecido como TCO que tem por objetivo acompanhar mensalmente os custos diretos e indiretos do *data center* (LI et al., 2011), (MARTENS; WALTERBUSCH; TEUTEBERG, 2012) e (HAN, 2011):

- ROI - É a relação entre o dinheiro ganho ou perdido através de um investimento e o montante de dinheiro investido. Empreendedores e executivos avaliam o ROI de um projeto pois ele indicará o quanto tal projeto foi ou será bem-sucedido. Ter a informação correta sobre este indicador ajuda o empreendedor a gerir melhor sua empresa. (ERDOGMUS; FAVARO; STRIGEL, 2004), (HARTEL et al., 2008) e (MISRA; MONDAL, 2011); e
- TCO - Custo total de propriedade ou custo total da posse é uma estimativa financeira projetada para consumidores e gerentes de empresas para avaliar os custos diretos e indiretos relacionados à

compra de todo o investimento, tal como *softwares* e *hardwares*, além do gasto inerente de tais produtos para mantê-los em funcionamento, ou seja, os gastos para que se continue proprietário daquilo que foi adquirido (MATÉ; TRUJILLO; MYLOPOULOS, 2012), (BODIK et al., 2010) e (VELITCHKOV, 2008).

O modelo de custo ROI é aplicável para investimentos de longo prazo, diferente do TCO que tem foco nos custos da implementação de uma determinada tecnologia, sua vida útil e maneira de mantê-la em funcionamento. A composição de um TCO depende de vários custos (variáveis, fixos, diretos e indiretos), e as métricas podem ser coletadas no próprio ambiente ou através de um modelo de custo específico para cada custo.

Neste contexto, percebe-se que a composição dos custos é relevante para determinação do custo de um serviço computacional oferecido. Além disso, a granularidade e importância de cada componente precisa ser averiguada a fim de determinar se um custo é fixo ou variável. Consequentemente, um IDC necessita mensurar quanto de recursos são gastos e isso está relacionado a como os clientes contratam os seus serviços, i.e., modelos de terceirização. A computação em nuvem traz consigo uma mudança na forma de terceirizar recursos e consequentemente impacta em adequações no modelo de custos de um *data center*.

## 2.2 Computação em nuvem

A computação em nuvem é uma tecnologia cujo objetivo é proporcionar serviços de TI sob demanda com pagamento baseado no uso. Tendências anteriores à computação em nuvem, como *cluster*, computação em grade, foram limitadas a uma determinada classe de usuários, ou focadas em disponibilizar uma demanda específica de recursos de TI, principalmente de processamento. Essas demandas também implicaram no modo como os recursos eram utilizados e consequentemente como os seus custos eram calculados (THENG; HANDE, 2012).

A mudança na forma como os recursos computacionais são consumidos (sob demanda) exigiu uma reformulação nos *data centers* quanto aos seus modelos de custos. Sendo assim, a evolução do modo como os recursos computacionais são ofertados e consumidos na computação em nuvem implica também nos modelos de custo que foram elaborados para este novo paradigma.

### 2.2.1 Contexto histórico

Um *data center* possui escalabilidade limitada para serviços comoditizados, que seja por falta de flexibilidade ou por questões de gerenciamento. Esta limitação instigou o pioneiro da computação McCarthy, em 1961, que previu que “Computação pode algum dia ser organizado como uma utilidade pública” e passou a especular como isso pode ocorrer (FOSTER et al., 2008).

Em meados de 1990, o termo computação em grade foi criado para descrever tecnologias que permitem aos consumidores obter computação por demanda. Pesquisadores solicitaram à comunidade científica a padronização dos protocolos utilizados para solicitar computação em grande escala, o que poderia estimular a criação da computação em grade, análogo em forma e utilidade a uma rede de energia elétrica (FOSTER et al., 2008; FOSTER; KESSELMAN; TUECKE, 2001).

As grades surgiram como opção acadêmica possibilitando agregar recursos computacionais variados e dispersos, acelerando a execução de vários processos computacionais. (WILKINS-DIEHR et al., 2008).

A computação em grade não obteve sucesso comercial, na sua grande maioria, o uso dos recursos estava restrito a cientistas da computação. As grades necessitavam de uma evolução considerável nos serviços oferecidos, aprimoramento dos recursos da *internet* que simplificassem o acesso remoto, na orquestração dos recursos e na facilidade em alocar e deslocalar (elasticidade e flexibilidade) (SASTRY; COX; CONSIDINE, 2011).

Como resultado da evolução da grade computacional, a computação em nuvem apresenta uma evolução considerável na orquestração dos recursos computacionais. Como um dos pilares dessa evolução está a orquestração de recursos virtualizados, que podem ser dinamicamente provisionados com interface simples, serviços sob demanda, elasticidade rápida para os recursos serem rapidamente fornecidos e serviços mensuráveis para o provedor. Neste novo cenário o cliente pode monitorar e controlar a utilização dos recursos alocados.

### 2.2.2 Características da computação em nuvem

As nuvens computacionais são uma abordagem à comoditização de recursos, de aplicações e infraestrutura, determinando modelos de serviço que podem ser acessados a partir de qualquer dispositivo com acesso à Internet. Na nuvem os recursos computacionais estão à disposição do usuário, que pode liberar ou provisionar mais recursos, conforme a sua necessidade (ARMBRUST et al., 2010).

O modelo de computação em nuvem permite o acesso de rede ubíquo, conveniente, por demanda a um conjunto configurável de recursos computacionais compartilhados que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviço e suas características. Uma visão geral das características essenciais, modelos de serviço e modelos de implantação para nuvens computacionais está disposta na Figura 2 (ENISA, 2011; MELL; GRANCE, 2011; CSA, 2011).

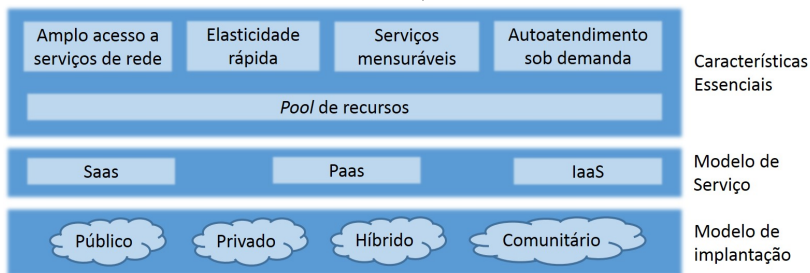


Figura 2 – Características essenciais, modelos de serviço e modelos de implantação para computação em nuvem segundo o NIST. Adaptado de (MELL; GRANCE, 2011).

Entretanto, há uma certa confusão na terminologia geral do modelos de serviço por parte dos provedores de serviços de nuvem, pois estes criam modelos de serviço de acordo com suas necessidades e objetivos de negócio, dificultando o entendimento do conceito por parte dos principais interessados: os usuários. Tendo esse problema em vista, o NIST (MELL; GRANCE, 2011) definiu três modelos de serviço que são utilizados como referência por diversos pesquisadores ((JR et al., 2010; CASTRO et al., 2012)) e organizações de renome (CSA (*Cloud Security Alliance*) (CSA, 2011), ENISA (*European Network and Information Security - Agency*) (ENISA, 2011)) e o próprio NIST. Os modelos de serviços, definidos pelos NIST (Figura 2), são conhecidos como Modelo SPI (SaaS, PaaS e IaaS) e referem-se à maneira como o conjunto configurável de recursos computacionais em nuvem pode ser ofertado ao consumidor (ARMBRUST et al., 2010).

Dos modelos de serviços supracitados, o ambiente de computação formado por diversos servidores virtuais hospedados no *data center* é conhecido por *IaaS*. Através da virtualização, mover recursos computacionais da sua infraestrutura para uma nuvem computacional oferecida por um IDC é uma opção simples. Esta tecnologia, usualmente disponibilizada através de máquinas virtuais, oferece grande flexibilidade

porque as VMs (*VM-Virtual Machine*) podem ser criadas, configuradas e destruídas facilmente. Deste modo, os clientes deslocam VMs da sua infraestrutura para o IDC que deve administrá-las de acordo com as suas políticas e contratos estabelecidos com o cliente.

### 2.2.3 Recursos de *software* compartilhados e não compartilhados na máquina virtual

No ambiente virtualizado, os recursos físicos são abstraídos ao sistema operacional, o mesmo ocorre com os recursos de *software*. A utilização dos recursos de *software* utiliza o *hardware*, e este consome energia elétrica. Estes recursos podem ser compartilhados e não compartilhados:

- Recursos de *software* compartilhados (XIONG et al., 2011): Uma grande quantidade de recursos de *software* estão disponíveis em um provedor de serviços na nuvem. Essa quantidade pode ser compartilhada por diversos usuários de uma forma rentável como um banco de dados, satisfazendo os acordos de nível de serviço ao usuário (SLAs - *Service Level Agreement*). Esses recursos são úteis também para o provedor realizar suas tarefas de gerenciamento. Em contrapartida, há a dificuldade de controlar a utilização dos recursos por cada usuário em separado; e
- Recursos de *software* não compartilhados: Os recursos de *software* são alocados para cada usuário em VMs onde o serviço não é compartilhado com outros usuários, também satisfazendo os acordos de nível de serviço ao usuário (SLAs). Deste modo o controle de utilização pode ser medido individualmente.

A dificuldade de identificar a quantidade de recursos consumidos por cada cliente no modo “Recursos de *software* compartilhados” é considerável visto que as medições devem ser realizadas a nível de processos dentro de um sistema operacional. Por outro lado, a identificação dos recursos consumidos no modo “Recursos de *software* não compartilhados” é facilitada pela mensuração dos recursos consumidos pela VM do cliente. Neste trabalho, é adotado apenas o modo “Recursos de *software* não compartilhados” pela sua simplicidade e facilidade na mensuração de recursos.

### 2.2.4 Modelos de custo na computação em nuvem

Embora a computação em nuvem apresente certas características, como o provisionamento de recursos, seu principal objetivo é reduzir o custo da utilização dos recursos (BOSSCHE; VANMECHELEN; BROECKHOVE, 2010). Os provedores de nuvem usam modelos de custos que combinam diversas métricas e regras para definir o preço em relação à utilização dos recursos.

No ambiente de nuvem, as políticas, regras ou os requisitos são orientados ao modelo de negócio em que os recursos de computação, tais como computação e armazenamento, entendidos como serviços. Este modelo é conhecido como *utility computing* e geralmente implementado usando outras infraestruturas de computação com base em políticas e regras para serviços de contabilidade e monitoramento adicionais (FOSTER; KESSELMAN; TUECKE, 2001);

Entretanto, não foi identificada uma padronização destas políticas e regras. O grau de automação, abstração e personalização que regem um serviço pode variar bastante. Alguns sistemas oferecem aos usuários a possibilidade de construção de condições simples com base em certas métricas, como por exemplo, número de núcleos (vCPU), memória, disco e rede. Outros sistemas podem utilizar métricas no nível do serviço (e.g., relação de custo e benefício) e permitem até estratégias mais complexas (ZHANG; CHENG; BOUTABA, 2010). Na computação em nuvem há duas estratégias principais de cobrança:

- *pay-as-you-go* (pague pelo que alocou): O consumidor paga por aquilo que alocar, os *data centers* tradicionais ainda utilizam este modelo, “Eu recebo o que pago” (ABOLFAZLI et al., 2015); e
- *pay-as-you-use* (pague pelo que utilizou): A computação é como um serviço fornecido automaticamente conforme a necessidade e tarifado de acordo com o consumo, “Eu pago o que recebo” (BEGUM; KHAN, 2011).

Estes modelos de custo, ou estratégias de cobrança, podem variar de empresa para empresa quanto a sua granularidade e medições a serem utilizadas. Para a avaliação dos modelos de custo, foram selecionadas empresas do mercado utilizando como base o relatório dos maiores provedores de IaaS emitido em 2015 pelo grupo Gartner. Este mesmo relatório, apresenta um esquema de classificação destas empresas segundo quatro critérios: concorrentes, líderes, mercado e visionários. O esquema em formato de quadrante mágico esta representado na Figura 3 (LEONG DOUGLAS TOOMBS, 2015).

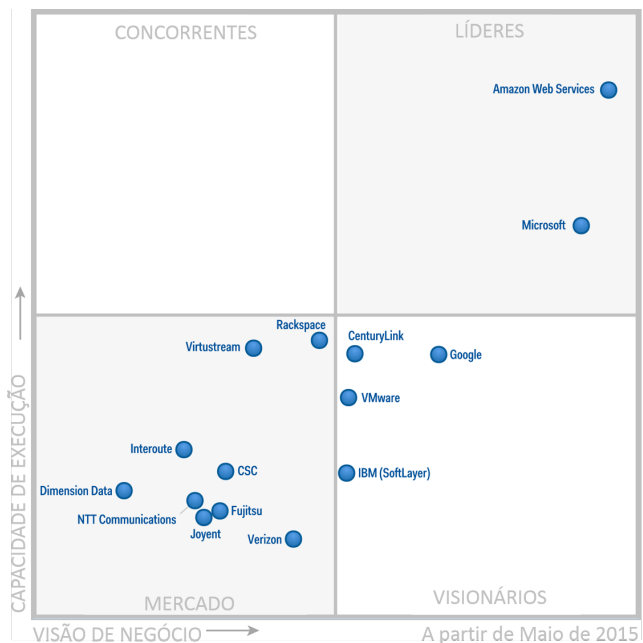


Figura 3 – Quadrante dos principais fornecedores de serviço IaaS para computação na nuvem. Fonte: Gartner: *Magic Quadrant for Cloud Infrastructure as a Service*, relatório mundial Lydia Leong et al., publicado em 18 de maio de 2015.

A classificação destas empresas sob a ótica dos eixos capacidade de execução e visão de negócio, não identificou nenhuma empresa na categoria concorrentes, destacou duas como líderes de mercado, definiu quatro como visionárias e concentrou as nove restantes em mercado comum. Neste trabalho, a análise dos módulos de custos de provedores do mercado é essencial à identificação de critérios utilizados para a composição do custo. Esta análise tomou como base as duas líderes de mercado, Amazon EC2 e Microsoft, uma da categoria das visionárias, a Google, e uma da categoria de mercado, a Rackspace. Foi incluída a este grupo um provedor brasileiro de destaque, a Dualtec, que não contava no relatório, mas que se justifica pela inserção de mercado regional a qual ela representa.

Identificadas as empresas, o trabalho definiu critérios de comparação vinculados a composição dos custos de alocação. São eles: Tipo



de virtualização suportada, estratégia de cobrança, o provedor tarifa pelo uso da energia elétrica, o tipo de *hypervisor* utilizado afeta no custo de alocação, a localização do *data center* afeta no custo de alocação, quais são os itens alocáveis na máquina virtual, modelo do *hypervisor* e tarifação pelo uso da rede é interna, externa ou ambas. Estas informações encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Aspectos da tarifação da VM em provedores IaaS. Fonte: produção do próprio autor.

Características	Provedor				
	Amazon EC2	IBM	Microsoft Azure	Rack Space	Dualtec
Tipo de virtualização	VM, Container	VM, Container	VM, Container	VM	VM
Aspectos Tarifação VM					
<i>Pay-as-you-use</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>Pay-as-you-go</i>	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Tarifa consumo elétrico pelo uso?	Não	Não	Não	Não	Não
<i>Hypervisor</i> influencia no custo?	Não	Não	Não	Não	Não
Cobrança diferenciada por localização do <i>data center</i>	Sim	Não	Sim	Não	Não
Aspectos VM					
Itens alocados VM	CPU, ECU, MEM, MEM, DISK	CPU, MEM, DISK	CPU, MEM, DISK	CPU, MEM, DISK	CPU, MEM, DISK
Unidade de cobrança VM	Tipo Instância	Tipo Instância	Tipo Instância	Tipo Instância	Tipo Instância
<i>Hypervisor</i> empregado	Xen Server	Xen Server	Windows Azure hypervisor	Xen Server	Xen Server
Tarifação uso de rede					
Tipo de cobrança rede	GB	GB	GB	GB	GB
Tráfego interno	Sim	Não	Sim	Não	Não
Tráfego externo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

A Tabela 2 permite concluir que as soluções listadas não consideram nos seus modelos de custos o quanto de uso de processador é utilizado pelo cliente, apenas a quantidade de processadores atribuídos por máquina virtual. Conforme informado, na subseção 2.1.3, o uso do processador implica diretamente no consumo de energia elétrica de um dos principais custos variáveis do TCO: a energia elétrica. Sendo assim, esses modelos se assemelham mais a um *pay-as-you-go* do que a um *pay-as-you-use* por não considerarem o uso do processador e o seu impacto no consumo de energia elétrica de um *data center* na formação do custo do serviço oferecido aos clientes.

## 2.3 *Data center* tradicional versus computação em nuvem

A estrutura física para atender um *data center* tradicional e um *data center* para a computação em nuvem é muito parecida. O *data center* tradicional se destaca por atender aplicações que têm uma ampla variedade de cargas de trabalho, aplicações utilizados apenas por um número relativamente pequeno de usuários (porém importantes para o negócio) e aplicações que são executados em sistemas mais antigos que ainda são necessários para o negócio. Devido à natureza destas aplicações, é provável que não seja rentável mover para a nuvem (VAZQUEZ; KRISHNAN; JOHN, 2014).

Diferente do *data center* tradicional, na nuvem computacional os recursos físicos são colocados em agrupamentos lógicos, como *pools* de recursos e geralmente separados por domínios. Esses agrupamentos lógicos são mapeados para uma infraestrutura física e isso auxilia na tomada de decisões de gerenciamento e no provisionamento que pode ser aplicada pelo usuário, de preferência sob demanda (MELL; GRANCE, 2011).

Outra diferença são os modelos de custo utilizados: os *data centers* estão mais caracterizados pelo uso do *pay-as-you-go* e computação em nuvem pelo uso do modelo de custo *pay-as-you-use* (BEGUM; KHAN, 2011). Por fim, os serviços de computação em nuvem possuem um diferencial porque o custo é provavelmente inferior do que o mesmo serviço fornecido a partir de um *data center* tradicional. (ARMBRUST et al., 2010). Isso acontece porque paga-se somente pelo o que utiliza na nuvem, enquanto no *data center* tradicional paga-se pelo recurso independentemente de o mesmo ser utilizado ou não.

## 2.4 Considerações parciais

Dentre as variáveis que compõe o custo, a energia elétrica consumida pelos equipamentos de TI é responsável por mais de 52% dos custos variáveis do *data center*. Estes custos são repassados ao cliente, afinal, são custos operacionais que compõe o TCO. O fato é que o consumo de energia varia conforme a utilização de recursos, quanto maior o percentual de utilização do recurso de *hardware*, maior o consumo elétrico da máquina física.

A taxa de utilização de processador, não interfere no valor pago pelo cliente nos modelos de custo identificados neste trabalho. Contudo, interfere substancialmente no consumo de energia do *data center*. Neste contexto, aplicar a divisão igualitária do custo variável de energia elé-

trica entre clientes com utilização distinta e diferenciada dos recursos de *hardware* não é adequado.

A evolução do ambiente de *data centers* teve como foco a unificação da computação, armazenamento, rede, virtualização e gerenciamento em uma plataforma centralizada. O resultado desta evolução são a simplificação operacional e agilidade, essenciais para a computação em nuvem e a implantação de TI como serviço um terceirizado.

Esta unificação possibilitou a utilização do IaaS para fornecimento de recursos virtualizados (tipicamente através de VMs) por permitir que em um mesmo computador sejam executados simultaneamente dois ou mais serviços do cliente de modo distinto e com o devido isolamento. Mais do que isso, permite a alocação dos recursos do IDC para cliente em unidades bem definidas e que geralmente são: quantidade de vCPUs, memória e armazenamento.

Os provedores IaaS (Amazon EC2, Microsoft, Google, Rackspace e Dualtec) utilizam o *pay-as-you-use* como principal modelo de custo para a tarifação. Esta forma de tarifação é baseada no uso, ou seja, o valor a ser pago é proporcional à quantidade de recursos utilizados. O custo é definido pela alocação do tipo de instância e pela quantidade de dados trafegados. Nesta condição não foram encontrados provedores que consideram na sua tarifação a utilização do processador, que possui impacto direto no consumo de energia elétrica de um *data center*.

A energia elétrica é um dos principais custos variáveis da operação de um *data center*, porém os modelos de custos encontrados não distribuem os custos com o consumo elétrico conforme o uso do processador. Neste sentido é evidente a necessidade de um modelo de custo que considere o uso dos processadores (vCPUs) alocados em uma VM na composição do custo do serviço.

## Modelo de custo Virtual Power

A energia elétrica é um dos principais custos variáveis da operação de um *data center*, porém os modelos de custos encontrados não distribuem os custos com o consumo elétrico conforme o uso do processador. Modelos de custos tradicionais, tanto *pay-as-you-go* quanto *pay-as-you-use*, consideram a alocação dos recursos na composição do custo diferenciando-se entre si, simplesmente, pelo fato do recurso estar ou não ativo no momento.

Este capítulo apresenta um modelo de custo que leva em consideração a utilização do processador e respectivo consumo de energia elétrica: Modelo Virtual Power. Este modelo considera o consumo de energia elétrica do processador para ambientes virtualizados não compartilhados em sistemas de computação na nuvem do tipo IaaS. Para o seu desenvolvimento foi realizado um levantamento de quais componentes da máquina virtual são relevantes em relação ao consumo elétrico.

O Virtual Power é um modelo de custo para o TCO, neste modelo o custo com o uso de energia elétrica pelo processador do hospedeiro será repassado a instância. Os custos com consumo elétrico relacionados a manutenção do ambiente de virtualização devem ser divididos entre as instâncias alocadas em um computador hospedeiro através de um critério de rateio.

Outros modelos de custo são comparados com Virtual Power, sendo seus aspectos relevantes avaliados. Esta comparação busca identificar se o modelo de custo comparado leva em consideração recursos do ambiente virtualizado vinculando a carga ou uso do recurso virtual ao modelo de custo.

### 3.1 O ambiente virtualizado

A virtualização de máquinas pode ser definida como uma tecnologia que permite o compartilhamento de recursos computacionais entre diferentes ambientes de execução, chamados de máquinas virtuais. Cada máquina virtual acessa uma abstração de recursos isolada, dando ao usuário a ilusão de acessar diretamente uma máquina física com os recursos computacionais dedicados. Desta forma, a virtualização permite que um computador físico execute diversos computadores virtuais em paralelo, cada um com suas aplicações e sistema operacional próprio (BITTMAN, 2011).

A virtualização pode ser realizada em diferentes níveis, como: No nível de *hardware*, do sistema operacional ou de aplicação. Qualquer que seja o nível de abstração em que a virtualização ocorra, a ideia central continua sendo a mesma: os recursos da camada inferior são particionados, através de técnicas que permitem mapeá-los em diversos domínios virtuais na camada superior (CHOWDHURY; BOUTABA, 2010). Há cinco tipos de virtualização:

- Emulação de *hardware*: Esta virtualização emula o comportamento de *hardware* em uma VM de um tipo que pode não ser o mesmo do computador hospedeiro. Isto implica em emular os ciclos de *clock*, o conjunto de instruções, os estados de execução do processador e até mesmo a memória (HUBER et al., 2011);
- Virtualização completa: O *hardware* hospedeiro é completamente abstraído e todas as características de um equipamento virtual são emulados, ou seja, todas as instruções solicitadas pelo sistema convidado são processadas no monitor de máquina virtual. O sistema hospedado ignora a existência da máquina virtual e opera como se funcionasse diretamente sobre o *hardware* para o qual foi projetado para funcionar (WALTERS et al., 2008);
- Virtualização assistida por *hardware*: A virtualização por *hardware* utiliza recursos de virtualização incorporados nas últimas gerações de CPUs da Intel e da AMD. Estas tecnologias (e.g., Intel VT e AMD-V) oferecem as extensões necessárias para executar máquinas virtuais não modificadas sem os problemas inerentes à emulação de CPU da virtualização total (WALTERS et al., 2008);
- *Container*: Um *container* é uma forma de virtualização no nível do sistema operacional, um ambiente totalmente isolado, simulando um sistema independente no mesmo *host*. Com isso, é

possível executar uma aplicação com todas as configurações necessárias (variáveis de ambiente, pacotes etc.) com o mínimo de impacto (XAVIER et al., 2013); e

- Paravirtualização: A paravirtualização é uma alternativa à virtualização completa. Nesse modelo de virtualização, o sistema operacional é modificado para realizar chamadas diretamente ao *hypervisor* sem a necessidade das chamadas do sistema operacional da VM necessitarem ser recebidas pelo hardware emulado para então serem tratadas pelo *hypervisor*. Isso representa um ganho significativo de desempenho (XU et al., 2010).

Dos tipos de virtualização apresentados, a paravirtualização está em destaque por ser utilizada pelos maiores provedores de nuvem como Amazon EC2, Microsoft Azure, IB, Google, Rackspace e o provedor brasileiro Dualtec. O IDCs normalmente preferem a paravirtualização devido a sua otimização possibilitar executar com um melhor desempenho que os demais tipos supracitados. O ganho de desempenho é resultado de um acesso otimizado do sistema operacional (SO) quando realiza chamadas de sistema diretamente ao *hypervisor*, sem necessitar da intermediação entre SO na VM e a parte de emulação de hardware do *hypervisor* para então esse último realizar o acesso ao *hardware*. A paravirtualização possibilita que os dispositivos de *hardware* sejam acessados por *drivers* da própria VM, não necessitando mais do uso de *drivers* genéricos que possam a vir restringir o uso da capacidade total do dispositivo (ESWAR; RAVI; GIRI, 2015).

O *hypervisor* ou diferenciador de máquina virtual é uma plataforma que permite aplicar diversas técnicas de controle da virtualização para utilizar, ao mesmo tempo, diferentes sistemas operacionais no mesmo computador. O modo como *hypervisor* é implementado pode ser classificado em dois tipos (ARMBRUST et al., 2010):

- Tipo I: O *hypervisor* do tipo I é denominado nativo ou *bare metal* e é instalado diretamente no *hardware* (Figura 4); e
- Tipo II: O *hypervisor* do tipo II é instalado em um sistema operacional existente, o que introduz uma sobrecarga de processamento maior que o tipo I, pois todos os recursos do ambiente operacional são gerenciados pelo sistema operacional, resultando em desempenho menor (TORDSSON et al., 2012).

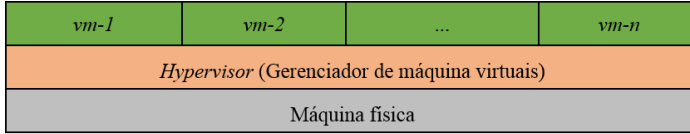


Figura 4 – *Hypervisor* do tipo I, também denominado como nativo ou *bare metal*, é instalado diretamente no *hardware*. Fonte: produção do próprio autor.

Este trabalho utiliza a paravirtualização do tipo I ou *bare metal* (Figura 4). Este tipo de virtualização é o mais utilizado em *data center* empregados para disponibilizar serviços de nuvens computacionais, pois permite que um único servidor físico possa hospedar diversos servidores virtuais. Entretanto, requer que os sistemas operacionais sejam modificados para suportar o ambiente virtualizado. No entanto, os aplicativos e bibliotecas utilizada pelo usuário não precisam ser modificados (YOUNGE; FOX, 2014).

No que se refere ao consumo de recursos físicos, e consequente consumo de energia, as máquinas virtuais paravirtualizadas são tratadas como *software*. A demanda de processamento de um aplicativo executado em uma máquina virtual implica no mapeamento de uma CPU virtual (vCPU) desta máquina em uma CPU física do hospedeiro. Portanto, as instruções de execução deste aplicativo nesta vCPU implica no processamento destas instruções na CPU física. As tarefas básicas do *hypervisor* como o processo de gerenciamento de máquinas virtuais, a gerência de entrada e saída e a própria execução de instruções da vCPU implica em consumo de energia elétrica no hospedeiro.

A composição dos consumos elétricos de um hospedeiro quando este encontra-se paravirtualizado com o *baremetal* é o primeiro passo à elaboração de um modelo de custos *pay-as-you-use* baseado no consumo de energia elétrica do processador com base na sua utilização. Na Figura 5 são apresentados os componentes do consumo elétrico em um ambiente virtualizado quando utilizado um *hypervisor* do tipo I.

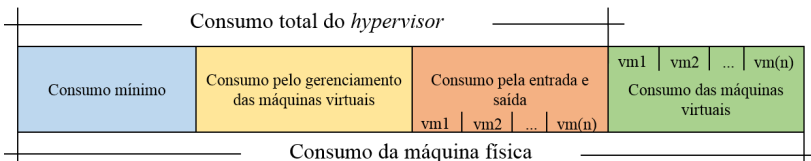


Figura 5 – Componentes do consumo elétrico no ambiente virtualizado do tipo I. Fonte: produção do próprio autor.

Uma breve descrição dos componentes apresentados na Figura 5:

- Consumo mínimo: Consumo elétrico do *hypervisor* quando não há máquinas virtuais ativas para gerenciar, executa operações para manutenção e gerenciamento do *hypervisor* em si, descartadas as operações necessárias para gerenciar as máquinas virtuais;
- Consumo pelo gerenciamento das máquinas virtuais: Consumo elétrico utilizado pelo uso de recursos quando o *hypervisor* solicita um escalonamento, alocação, *checkpoint*, migração, etc.;
- Consumo pela entrada e saída: Consumo elétrico pelo uso do processador pelo *hypervisor* quando ele está gerenciando entrada e saída para as máquinas virtuais; e
- Consumo das máquinas virtuais: Consumo elétrico pelas máquinas virtuais que utilizam o processador da máquina física.

Ao individualizar o consumo elétrico de recursos virtuais ao vincular a taxa de utilização do processador por máquina virtual, possibilita-se a definição de um modelo de custo ponderado pela taxa de uso do processador por máquina virtual. Para atingir este objetivo, este trabalho considera os seguintes comportamentos:

- O consumo de energia elétrica de uma vCPU, mapeada em um processador físico, não gera consumo elétrico em outro processador físico devido ao gerenciamento do *hypervisor*. Outras solicitações a recursos virtuais, como entrada e saída, geram consumo elétrico do processador do *hypervisor* devido a gerência; e
- A soma do consumo de energia elétrica gasto por duas vCPUs, com taxa de utilização de processador respectivas de  $x$  e  $y$ , é a mesma do que o consumo de energia elétrica de uma vCPU com taxa de utilização  $w$ , na qual  $w = x + y$ . Portanto, pode-se generalizar a proporção através da fórmula:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m vCPU_m &= \sum_{i=1}^n vCPU_n \\ &\quad se, \\ \sum_{i=1}^m tx_m &= \sum_{i=1}^n tx_n \end{aligned} \tag{3.1}$$

na qual,  $m$  e  $n$  são o número de vCPUs e  $tx$  é a taxa de utilização.

A energia elétrica é responsável por grande parte dos custos variáveis de um ambiente de nuvem computacional. Estes custos são



normalmente repassados diretamente ao cliente, afinal, são custos operacionais mensais. O fato é que o consumo de energia pode sofrer alterações conforme a utilização de recursos, quanto maior o percentual de utilização do recurso de *hardware*, maior o consumo elétrico da máquina física (LEE; ZOMAYA, 2012).

Os *data centers* são tipicamente compostos por vários hospedeiros, cada um podendo hospedar várias VMs. Além disso, o consumo de energia em cada hospedeiro muda em função do tipo de *hardware*. Estas hipóteses são comprovadas na Seção 4.4.4.

A necessidade de um modelo de custo no ambiente de nuvem que permita a divisão proporcional a utilização de recursos é evidente, sendo que a descrição da maneira como os recursos consomem energia é essencial para o entendimento e concepção de um modelo de custo. Neste sentido, torna-se necessário definir como calcular cada componente envolvido (Figura 5) no fornecimento de uma VM em um serviço de computação de nuvem tipo IaaS.

## 3.2 Modelo de custo Virtual Power

Um modelo de custo baseado no uso do processador para a nuvem deve integrar a utilização de recursos virtualizados e o consumo de energia elétrica pela carga de trabalho aplicada a máquina virtual. O Modelo Virtual Power utiliza o consumo elétrico pela utilização do processador para calcular o custo por máquina virtual.

O Modelo Virtual Power descreve seu modelo de custos ponderando os componentes consumidores de energia identificados na Figura 5, característicos da paravirtualização do tipo *bare metal*. Na Figura 6, derivada da Figura 5, a cada componente associou-se uma variável de consumo permitindo, assim, o tratamento específico de rateio para cada um dos custos.

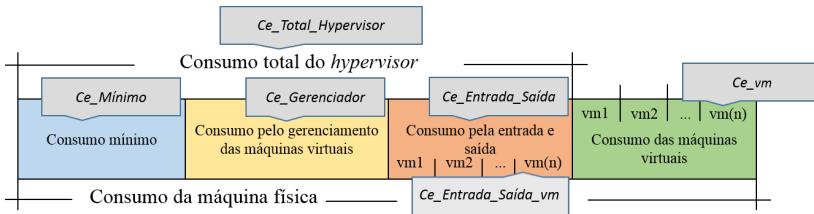


Figura 6 – Componentes do consumo elétrico no ambiente virtualizado do tipo I adaptado ao modelo de custo Virtual Power. Fonte: produção do próprio autor.

Uma breve descrição das variáveis listadas na Figura 6:

- *Ce\_Mínimo*: Representa o consumo elétrico do *hypervisor* quando não há máquinas virtuais ativas para gerenciar, executa operações para manutenção e gerenciamento do *hypervisor* em si, descartadas as operações necessárias para gerenciar as máquinas virtuais; e
- *Ce\_Gerenciador*: Representa o consumo elétrico utilizado pelo uso de recursos quando o *hypervisor* solicita um escalonamento, alocação, *checkpoint*, migração, etc.

O objetivo do Modelo Virtual Power é dispor de um modelo de custos que pondere a utilização do processador no rateio dos custos de energia. Os componentes, descritos na Figura 6, podem ser classificados, conforme seu uso, como individuais ou coletivos. Os consumos por máquina virtual (*Ce\_vm*) e entrada e saída (*Ce\_Entrada\_Saida*) são classificados como individuais porque eles contabilizam o consumo elétrico por máquina virtual. O consumo mínimo (*Ce\_Mínimo*) e gerenciador (*Ce\_Gerenciador*) são coletivos. O Modelo Virtual Power tem como unidade de custo a máquina virtual. Os consumos individuais já fornecem os dados por máquina virtual, no entanto os consumos coletivos necessitam da definição de uma unidade de rateio.

Considerando que o Virtual Power baseia-se no uso do processador devido ao fato deste recurso ser o maior consumidor de energia do hospedeiro, definir o processador virtual (vCPU) como a unidade de divisão dos custos dos consumos coletivos é natural e adequado. A Figura 7 representa um exemplo de esquema de alocação de vCPUs em processador físico.

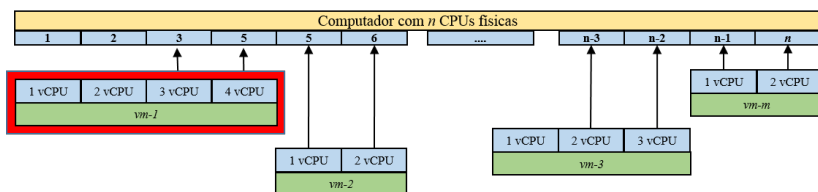


Figura 7 – Uso dos processadores pelas vCPUs das máquinas virtuais.

Fonte: produção do próprio autor.

Analisando o exemplo apresentado na Figura 7 pode-se observar que algumas VMs solicitaram a alocação de vCPUs (e.g., *vm-1*) mas o *hypervisor* não as mapeou em processadores físicos. Portanto,

conclui-se que um hospedeiro pode ter um número superior de vCPUs que de processadores físicos ou ainda que máquinas virtuais podem ter vCPUs sem mapeamento a um processador físico. O mapeamento de vCPU a um processador físico é dinâmico, mas pode ser identificado ao longo do tempo.

O Modelo Virtual Power dispõe de um modelo de custos baseado no consumo do processador, portanto definir o número de vCPUs mapeadas a processadores físicos como unidade de rateio é um critério de justiça adequado ao propósito do modelo. Outros critérios de rateio podem ser utilizados, como número de máquinas virtuais ativas no hospedeiro, vCPUs alocadas as máquinas virtuais, etc. Cada provedor pode definir um critério de rateio mais adequado ao seu negócio.

O cálculo do custo total por máquina virtual passa pela identificação de cada custo associado. Os custos oriundos dos consumos individuais, consumo de máquina virtual ( $Ce\_vm$ ) e consumo de entrada e saída ( $Ce\_Entrada\_Saida$ ), são simplesmente somados na equação 3.6 de consumo de energia por máquina virtual. Os consumos coletivos são rateados, uniformemente, por vCPUs mapeadas a processadores físicos.

O consumo mínimo ( $Ce\_mínimo$ ) é uma constante, obtida através de um método de calibração com equipamento de medição de energia (wattímetro) por hospedeiro (máquina física). Essa calibração é necessária em função dos diferentes comportamentos de consumo de energia que são consequentes das características de cada equipamento (e.g., tipo de processador, fonte de alimentação, etc.). O rateio do consumo mínimo é descrito na equação 3.2:

$$Ce\_Rateio\_Minimo_{vm} = \left( \frac{Ce\_Minimo}{vCPU_{hospedeiro}} \right) * vCPU\_vm \quad (3.2)$$

sendo que ( $Ce\_Rateio\_Minimo$ ) é o consumo atribuído a cada máquina virtual. O segundo consumo coletivo é o consumo de energia elétrica gasto para gerenciamento de máquinas virtuais é atribuído a ( $Ce\_Gerenciador$ ). O rateio do ( $Ce\_Gerenciador$ ) segue o mesmo princípio do rateio do consumo mínimo, divisão uniforme por vCPUs mapeadas a processadores físicos. No entanto, a obtenção do consumo do gerenciamento de máquinas virtuais não é direta. A equação 3.3 apresenta a relação dos componentes deste consumo:

$$Ce\_Gerenciador = Ce\_Total\_Hypervisor - Ce\_Minimo - \left( \sum_{i=1}^{n\_vm} \sum_{j=1}^{n\_int\_rede} Ce\_Entrada\_Saida_{ij} \right) \quad (3.3)$$

sendo que:

- $Ce\_Total\_Hypervisor$ : é o consumo de energia elétrica de todo o processamento do *hypervisor*;
- $Ce\_Mínimo$ : é a constante que representa o consumo mínimo;
- $n\_vm$ : é o total de máquinas virtuais ativas;
- $n\_int\_rede$ : é o total de interfaces de rede virtuais ativas na máquina virtual; e
- $Ce\_Entrada\_Saída$ : é o consumo gasto com o processamento de entrada e saída, por máquina virtual, executado pelo *hypervisor*.

Tem-se, então, a equação 3.4 de rateio do consumo de energia elétrica por máquina virtual:

$$Ce\_Rateio\_Gerenciador_{vm} = \left( \frac{Ce\_Gerenciador}{vCPU_{hospedeiro}} \right) * vCPU\_vm \quad (3.4)$$

sendo que:

- $Ce\_Rateio\_Gerenciador\_vm$ : é o consumo atribuído a cada máquina virtual;
- $Ce\_Gerenciador$ : é o consumo de energia elétrica total de gerenciamento de entrada e saída por hospedeiro;
- $vCPU\_hospedeiro$ : é o número total de vCPUs mapeadas a processadores físicos em um hospedeiro; e
- $vCPU\_vm$ : é o número total de vCPUs mapeadas a processadores físicos em uma máquina virtual.

O consumo elétrico pela entrada e saída ( $Ce\_Entrada\_Saída_{vm}$ ) é obtido pela máquina virtual, através do gerenciador, por interface de rede. A relação entre consumo elétrico pelo número de bytes trafegados é apresentado posteriormente na seção 4.

Tem-se, então, a equação 3.5 de consumo elétrico pela entrada e saída por interface de rede por máquina virtual:

$$Ce\_Entrada\_Saída_{vm} = \left( \sum_{i=1}^{n\_int\_rede} Ce\_Entrada\_Saída_i \right) \quad (3.5)$$

sendo que:

- $Ce\_Entrada\_Saída$ : é o consumo gasto com o processamento pela entrada e saída, por máquina virtual, executado pelo *hyper-visor*; e
- $n\_int\_rede$ : é o total de interfaces de rede virtuais ativas na máquina virtual.

Definidas as políticas de rateio dos consumos coletivos (equações 3.2 e 3.4) e os consumos individuais, pode-se, finalmente, obter-se a equação do consumo individualizado de energia elétrica por máquina virtual baseado na taxa de utilização dos processadores físicos, doravante chamada de ( $Ce\_Virtual\_Power$ ) e representada na equação 3.6.

$$\begin{aligned}
 Ce\_Virtual\_Power_{vm} = & Ce_{vm} \\
 & + Ce\_Rateio\_Minimo_{vm} \\
 & + Ce\_Rateio\_Gerenciador_{vm} \\
 & + Ce\_Entrada\_Saída_{vm}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

O consumo de energia por máquina virtual é constituído, simplesmente, pelo somatório dos consumos individualizados da máquina virtual ( $Ce_{vm}$ ), de entrada e saída ( $Ce\_Entrada\_Saída$ ), do rateio mínimo ( $Ce\_Rateio\_Minimo$ ) e rateio do gerenciamento de máquinas virtuais ( $Ce\_Rateio\_Gerenciador$ ). O resultado desta equação está em unidade de consumo de energia, normalmente, em Watts.

Espera-se que um modelo de custos tenha vínculo com alguma unidade monetária, neste caso, a relação direta entre a unidade de consumo é a unidade monetária é dada pela equação 3.7:

$$\begin{aligned}
 Custo\_Virtual\_Power_{vm} = & Ce\_Virtual\_Power_{vm} \\
 & *Custo\_Energia\_Hora
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

sendo que:

- $Custo\_Virtual\_Power_{vm}$ : é o custo em unidade monetária por máquina virtual/hora;
- $Ce\_Virtual\_Power_{vm}$ : é o consumo de energia por máquina virtual/hora; e
- $Custo\_Energia\_Hora$ : é o valor cobrado pela concessionária de energia por hora.

O Modelo Virtual Power trata somente o componente energia da equação de custos totais do TCO de uma nuvem. Portanto, o custo final por máquina virtual/hora de provedores de nuvem deve ainda acrescentar os custos com climatização, suporte, depreciação entre outros. Uma das contribuições do Modelo Virtual Power, descrito neste trabalho, é possibilitar que os provedores consigam entender melhor a utilização dos seus recursos e busquem por uma vantagem competitiva sob o critério de cobrança de máquinas virtuais/hora no que se refere ao consumo de energia.

O Modelo Virtual Power pode ser incorporado aos provedores (Amazon EC2, Microsoft, Google, Rackspace e Dualtec) que forneçam serviços IaaS com virtualização do tipo *bare metal*. Nestes provedores, o cliente não sabe quanto consumiu de energia em sua máquina virtual. Para o cliente que espera pagar pelo que consome este modelo de custo *pay-as-you-use* não é de fato *pay-as-you-use*. De fato, assemelha-se mais a um *pay-as-you-go* visto que um cliente que usa sua máquina virtual em 100% de sua capacidade paga o mesmo montante de um cliente que possui uma máquina virtual ativa com qualquer uso de processador diferente (e.g., 5%, 10%, 15%, ...). Alguns destes provedores também utilizam virtualização com *Containers*, neste momento o Modelo Virtual Power não é aplicado a este tipo de virtualização devido a sua forma diferente de organização.

### 3.3 Modelos de custo existentes *versus* Modelo Virtual Power

A identificação dos componentes que compõem os custos, tanto fixos quanto variáveis é um fator decisivo à correteza do modelo de custo. No ambiente de nuvem computacional, visto pela perspectiva do provedor a cobrança dos serviços de alocação dos recursos pelos clientes que os contratam faz parte do negócio e a composição do custo de alocação deve ser alimentada pelo custo dos componentes envolvidos na prestação de serviços.

Nos trabalhos correlatos listados, há pesquisas focadas na infraestrutura operacional e administrativa do provedor. Há também outros trabalhos focados na infraestrutura empregada para fornecer diretamente o serviço solicitado pelo cliente e outros em modelos de consumo elétrico pelo uso dos recursos.

O modelo de consumo de (LEE; ZOMAYA, 2012) determina o consumo elétrico pela utilização do recurso processador. A carga total de utilização do processador é definida pelo número de tarefas em execução. Neste contexto, o consumo de energia elétrica baseia-se na

utilização do processador. Este modelo não considera os componentes do ambiente virtualizado, sendo aplicável somente em ambientes com servidor físico.

O trabalho de (GMACH; ROLIA; CHERKASOVA, 2011) apresenta três modelos de custo com foco em carga de trabalho aplicada ao processador:

- *Direct resource*: calcula o custo, usando o consumo médio da carga de trabalho da aplicação;
- *Burstiness*: calcula o custo, utilizando a diferença entre o pico de utilização e carga média de trabalho da aplicação; e
- *Unallocated*: calcula o custo, utilizado como base os recursos não alocados.

Contudo, (GMACH; ROLIA; CHERKASOVA, 2011) não relaciona o consumo de recursos com o consumo elétrico.

Os resultados da monitoração do consumo de energia pelos recursos de processador e disco relacionados com cargas de trabalhos de um conjunto de aplicações são apresentados no trabalho de (SRIKANTIAH; KANSAL; ZHAO, 2008). A sua contribuição é exemplificar que a principal causa da ineficiência energética em *data centers* é o poder ocioso desperdiçado quando servidores executam em baixa utilização. Mesmo com uma carga de trabalho muito baixa, tal como 10% a utilização da CPU, a energia consumida é superior a 50% da potência de pico. Da mesma forma, se o disco, rede ou qualquer desses recursos é o gargalo de desempenho, o desperdício de energia ociosa em outros recursos aumenta.

Os trabalhos de (LEE; ZOMAYA, 2012), (GMACH; ROLIA; CHERKASOVA, 2011) e (SRIKANTIAH; KANSAL; ZHAO, 2008) são comparados com Virtual Power pelos seguintes critérios:

- Considera recursos do ambiente virtualizado: O trabalho deve apresentar quais são os componentes do ambiente virtualizados que compõe o custo;
- Relaciona o consumo de recursos com o consumo elétrico: O consumo elétrico deve ter relação com o uso de recursos, porém não precisa ser tarifado por utilização;
- Relaciona o consumo elétrico a tarifação: O consumo elétrico é tarifado conforme o uso da instância;

- Considera a utilização do modelo de custo TCO: A infraestrutura do *data center* pode ter o seu custo definido pelo TCO permitindo a identificação e avaliação de custos diretos e indiretos relacionados a contratação de pessoas, a compra de equipamentos, aos insumos e a manutenção destes componentes (LI et al., 2011; HAN, 2011);
- Considera a utilização do wattímetro: O trabalho não utilizado valores aproximados (método heurístico), utiliza o consumo elétrico lido através de um equipamento como um wattímetro; e
- Considera os custos de entrada e saída.

Todos estes modelos preocupam-se com a distribuição justa dos custos, cada um sob um aspecto. O comportamento da carga de trabalho ou o tipo de ambiente, físico ou virtual, também influenciam na escolha do modelo mais adequado. Neste trabalho, foram identificadas as seguintes características como relevantes a modelos de custos para *data centers* relacionando-as a alguns trabalhos da área Tabela 3.

Tabela 3 – Modelos de custo existentes versus Virtual Power. Fonte: produção do próprio autor.

Modelo de custo	Trabalhos relacionados			
	Lee et al.	Gmach et al.	Srikantiah et al.	Virtual Power
Considera recursos do ambiente virtualizado	Não	Não	Não	Sim
Relaciona o consumo de recursos com o consumo elétrico	Sim	Não	Sim	Sim
Relaciona o consumo elétrico a tarifação	Não	Não	Não	Sim
Considera a utilização do modelo de custo TCO	Não	Não	Não	Sim
Considera a utilização do wattímetro	Não	Não	Sim	Sim
Considera os custos de entrada e saída	Não	Sim	Sim	Sim

Na Tabela 3 a primeira característica especifica se o modelo de custo considera os recursos do ambiente virtualizado vinculando a carga ou uso do recurso virtual ao modelo de custo. Observa-se que o único modelo que atende este quesito é o Virtual Power, isso se deve ao fato dos demais não terem como foco em nuvens computacionais ou *data center* com virtualização. Além disso, a identificação precisa de carga de trabalho e relação com o consumo dos recursos em ambientes virtuais não é trivial. A característica advinda da relação consumo de



recursos *versus* consumo de energia é preocupação de três dos quatro modelos estudados, o que indica ser um componente importante na concepção do modelo de custos.

Estudos como (ENP, 2008) mostram que o consumo de energia é responsável por mais de 50% dos custos fixos de equipamentos de TI, relacionar o consumo de energia e utilização de recursos aos fatores de tarifação é essencial a modelos de custos preocupados com alocação sob demanda *pay-as-you-use*. O Modelo Virtual Power é o único modelo de custos analisado que adequa-se ao contexto de alocação sob demanda. Se o consumo de energia é essencial à concepção do modelo a influência no custo final, obter o consumo de energia preciso dos recursos passa a ser igualmente importante.

Dentre os modelos estudados, o Virtual Power e o (SRIKANTIAH; KANSAL; ZHAO, 2008) utilizam equipamentos de monitoração específicos para obtenção destes valores. Finalmente, embora os demais recursos de um equipamento de TI tenham menor impacto no consumo de energia, um modelo de custo que prime pela divisão justa dos custos vinculados ao consumo de energia deve considerar, pelo menos, o uso dos recursos com as operações de entrada e saída. Somente (LEE; ZOMAYA, 2012) desconsidera o consumo de energia com entrada e saída, pois seu trabalho não está focado no custo financeiro e sim no consumo de energia segundo a carga de trabalho do processador. O Modelo Virtual Power também considera o consumo de energia segundo a carga de trabalho do processador.

### 3.4 Considerações parciais

O modelo de custo Virtual Power é aplicável ao TCO. Os custos são decompostos para identificar quais destes são específicos do usuário e quais destes são relacionados a virtualização e neste caso dividir (ratear) entre os vários usuários do mesmo hospedeiro.

Os modelos de custo dos provedores de nuvem computacional (Amazon EC2), que utilizam o modelo de negócio *pay-as-you-use*, não fazem a tarifação pelo uso do processador e só consideram a quantidade de processadores alocados (independente da sua carga de uso). O cliente não sabe quanto consumiu de energia em sua instância. Para o cliente que espera pagar pelo que consome este modelo de custo *pay-as-you-use* não é de fato *pay-as-you-use* e está mais para *pay-as-you-go*.

Neste contexto, o custo de hospedagem para usuários que fazem cargas de trabalho distintas não reflete no custo real de hospedagem. Tarifar os custos para os clientes das instâncias por hora, omitindo a

variação entre as diferentes cargas de trabalho, pode gerar um desperdício de tamanho da máquina fixa e, portanto, resultar em mais custos de infraestrutura para provedores de IaaS.

As hipóteses levantadas necessitam de análise e experimentação para verificar a eficácia, aplicabilidade, veracidade e limitações. A construção de um ambiente para análise e medição destinado a verificação da relação do uso do processador e energia torna-se necessária.

## Experimentação, resultados e análise dos resultados

O modelo de custos apresentado no Capítulo 3 fornece através da análise da utilização do processador e consumo elétrico, a identificação do custo por máquina virtual, este custo pode ser aplicado ao TCO. Provedores de nuvem que ofertam a alocação de recursos sob demanda, através de serviços do tipo IaaS *bare metal*, podem incorporar o Virtual Power ao seu modelo *pay-as-you-use* de tarifação considerando o consumo de energia ponderado pela utilização de processador por máquina virtual. Neste capítulo é descrito o ambiente de testes, controlado e equipado com um monitor de consumo de energia, a descrição dos cenários estudados, os resultados que comprovam a relação consumo de energia *versus* utilização de processador e, finalmente, a aplicação do Virtual Power ao modelo de custos TCO do provedor de nuvem computacional Amazon EC2.

### 4.1 Descrição do ambiente de testes

O ambiente de teste necessário a experimentação e posterior a validação do modelo de custos proposto foi o laboratório LabP2D (Laboratório de Processamento Paralelo e Distribuído). O LabP2D assemelha-se a um *data center* de pequeno porte comercial e conta com *softwares* de gerenciamento de serviços na nuvem (*Openstack*), 40 nós multiprocessados (de 4 a 24 processadores cada), climatização dedicada e sensores de controle de condições climáticas. O ambiente de teste deste trabalho utilizou somente parte desta infraestrutura, ou seja, um dos

nós com 24 processadores e 5 outros com 4 processadores, e incluiu dois outros equipamentos, um computador básico de mesa e um medidor de energia elétrica (wattímetro). Os nós utilizados foram acessados diretamente, sem a gerência do *Openstack*, mas mantiveram a instalação do ambiente de virtualização paravirtualizado *bare metal* original do *data center*. Uma breve descrição da configuração de *hardware* dos equipamentos empregados nos experimentos:

- **Nó SuperServer:** Modelo 6027R-TRF com 2 processadores Intel Xeon E5-2600 com 24 núcleos, 30MB cache total, 64GB (DDR3 DIMM), 2 discos 1 TB SATA (7200 rpm), fonte 740W redundante e quatro interfaces de rede Intel i350 Gigabit Ethernet RJ45;
- **Nó HP:** Modelo AMD Phenom II X4 B93 2,8 GHz com 4 núcleos, 4 GB de memória RAM, disco 500 GB SATA (7200 rpm) com 2 interfaces de rede 8111E Gigabit Ethernet RJ45 e fonte 150W;
- **Desktop:** Modelo ASUS SABERTOOTH 990FX com processador AMD FX-6300 Bulldozer X6 3.5GHz com 6 núcleos, 16 GB de memória RAM, disco de 1 GB SATA (7200 rpm) e 1x interface de rede modelo Realtek 8111E Gigabit;
- **Switch:** Modelo Dlink DGS-3100-24 com 24 Portas 10BASE-T, 100BASE-TX, e 1000BASE-T; e
- **Wattímetro:** *Hardware* de medição energética, utilizado para obter leituras do consumo de energia elétrica diretamente a fonte de alimentação. Suas principais especificações são: gravação em memória, interface USB para leitura em tempo real do consumo elétrico e precisão na leitura do consumo +/- 1.5% watts.

Os componentes de *hardware* descritos possuem funções distintas no ambiente de teste. As funções especificadas são:

- **Hospedeiro:** disponibilizar um ambiente de virtualização paravirtualizado *bare metal*;
- **Cliente:** gerar carga de trabalho como cliente de aplicações cliente/servidor;
- **Coletor de dados:** obter, armazenar e processar os dados do consumo de energia e de taxas de utilização de processador;
- **Wattímetro:** obter os dados de consumo de energia e disponibilizá-los ao Coletor; e

- Switch: comunicação entre os componentes.

Para atender as necessidades dos experimentos o ambiente de teste utilizado neste trabalho contou com os seguintes componentes: 2 hospedeiros de máquinas virtuais, 3 servidores, 1 *switch*, 1 wattímetro e 1 coletor de dados. Os *softwares* instalados nestes componentes são:

- Hospedeiro Superserver: constituído pelo nó Superserver baseado no sistema operacional CentOS 32-bit, versão do *kernel* 2.6.32.43-0.4.1, *hypervisor* Xenserver 6.2 SP1 com os seguintes *patches* aplicados: XS62ESP1, XS62ESP1015, XS62E014, XS62E015;
- Hospedeiro HP: constituído pelo nó HP baseado no sistema operacional CentOS 32-bit, versão do *kernel* 2.6.32.43-0.4.1, *hypervisor* Xenserver 6.2 SP1 com os seguintes *patches* aplicados: XS62ESP1, XS62ESP1015, XS62E014, XS62E015;
- Servidor HP: constituído pelo nó HP com o sistema operacional Ubuntu, versão do *kernel* 2.6.32-504.23.4 e *iperf* 2;
- Coletor de dados: constituído pelo *desktop* com Debian Wheezy 7.0, versão do *kernel* 3.2.34.27-0.1.1, compilador gcc 4.7.2, *sshpas* 1.05, *iperf* 2, *eclipse endigo* e *java* 7; e
- *Switch* Dlink DGS-3100-24 com interface para gerenciamento remoto WebUI versão 2.51.16 e *telnet*.

Os componentes do ambiente de teste são conectados conforme o esquema da Figura 8.

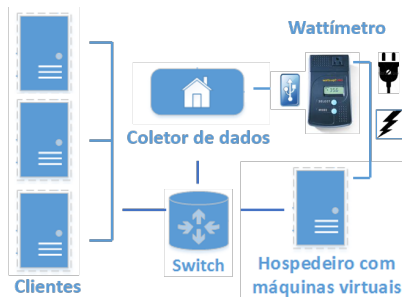


Figura 8 – Esquema dos componentes do ambiente de teste. Fonte: produção do próprio autor.

Na Figura 8, a comunicação entre Hospedeiros, Clientes e Coletor é feita através da rede via comutador. O Coletor está conectado ao monitor de energia por uma interface USB, deste modo a aferição do consumo de energia dos Hospedeiros é feita de forma não intrusiva. O fornecimento de energia ao Hospedeiro é intermediado pelo monitor de energia. Os relógios locais dos Hospedeiros, Clientes e Coletor são sincronizados por NTP (*Network Time Protocol*). O ambiente admite somente a aferição de um Hospedeiro por vez. Identificado o ambiente de testes, seus componentes e funções, descrito o esquema de conexão entre eles, é possível definir os *benchmark* e cenários para validação do modelo de custos Virtual Power.

Um ambiente real de *data center* possui cargas de trabalho variáveis. Provedores de nuvem computacional IaaS identificam VMs com cargas distintas distribuídas em seus *data centers*. Emular um provedor de nuvem computacional em produção exige equipamentos, tais como os descritos na Seção 4.1, e a geração de cargas de trabalho controladas e graduais. Um *benchmark* tem exatamente este objetivo, gerar cargas de trabalho parametrizáveis. Contudo, a avaliação do Modelo Virtual Power envolve ainda a monitoração do consumo de recursos vinculado com a carga gerada. Neste trabalho, para atender a geração de carga e a monitoração, foram utilizadas as seguintes aplicações:

- *stress*<sup>1</sup>: *Software de benchmarking* utilizado para criar carga de trabalho no processador, entrada e saída, memória e I/O em sistemas *Unix*, criando processos que alternam ciclos de processador e entrada e saída parametrizáveis;
- *iperf*<sup>2</sup>: *Software de benchmarking* utilizado para testar a largura de banda, podendo realizar injeção de pacotes (tanto TCP quanto UDP) para medir o desempenho de redes de computadores;
- *cpulimit*<sup>3</sup>: *Software de benchmarking* que limita o uso do processador por um processo;
- *CPU load script*<sup>4</sup>: Para controlar a carga de trabalho gerada pelo *stress* e limitado pelo *cpulimit* este *shell script* cria cargas de trabalho ao processador parametrizáveis em porcentagem de uso;

<sup>1</sup> <<http://people.seas.harvard.edu/~apw/stress/>>

<sup>2</sup> <<http://sourceforge.net/projects/iperf/>>

<sup>3</sup> <<http://cpulimit.sourceforge.net/>>

<sup>4</sup> <[https://github.com/ajurge/CPU\\_load](https://github.com/ajurge/CPU_load)>

- *Peter Bailey watts-up*<sup>5</sup>: *Software* de monitoramento para a leitura dos dados do wattímetro via conexão *USB*. Este *software* é uma versão melhorada da disponibilizada pelo fabricante. A principal diferença é abrir uma conexão à porta *USB* e ler múltiplos dados sem a necessidade de reabrir a conexão para cada leitura; e
- *Xenserver metrics*<sup>6</sup>: *Software* disponibilizado para monitoramento pelo *hypervisor XenServer*. A leitura é feita através do protocolo *HTTP* por uma requisição *SOAP (Simple Object Access Protocol)*. Este sistema de monitoramento retorna dados do ambiente de virtualização em formato *XML* atualizados em tempo real.
- Monitor VPower: *Software* de coleta de dados desenvolvido especificamente para obtenção de dados de calibragem para o Modelo Virtual Power. Este *software* alimenta uma base de dados com as informações de consumo de energia por máquina virtual, taxa de utilização por *vCPU*, taxa de utilização do processador do *hypervisor* e quantidade de dados trafegados por máquina virtual. O Monitor VPower (Figura 9) é composto por:

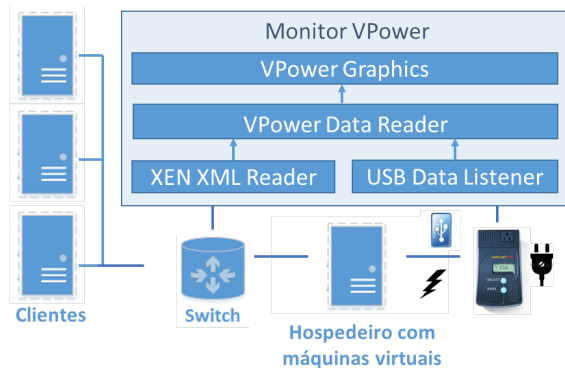


Figura 9 – Ambiente de testes. Fonte: produção do próprio autor.

- VPower Graphics: lê dados e gera gráficos;
- VPower Data Reader: é um *shell script* que controla o experimento do início ao fim da leitura de dados;
- Xen XML Reader: lê os dados do *hypervisor* e grava em banco de dados; e

<sup>5</sup> <<https://www.wattsupmeters.com/secure/downloads/LinuxUtility.zip>>

<sup>6</sup> <<http://xenserver.org/partners/developing-products-for-xenserver/18-sdk-development/96-xs-dev-rrds.html>>

- USB Data Reader: escuta a porta USB e em caso de falha de leitura, registra o período com falha e reinicia a escuta.

Para aplicar o Modelo Virtual Power é necessário calibrar o ambiente de testes. A calibragem torna-se necessária em função das diferentes características de consumo de energia que podem variar de acordo com cada modelo de processador, mesmo sendo do mesmo fabricante. Sendo assim, é obrigatório calibrar cada conjunto de equipamentos com uma certa configuração de *hardware* a fim de que o Modelo Virtual Power compute os valores corretamente.

#### 4.1.1 Calibragem do ambiente de teste

O modelo de custo Virtual Power, descrito no Capítulo 3, estabelece como critério de rateio dos componentes coletivos a divisão ponderada pelo número de vCPUs mapeadas a processadores físicos. O consumo mínimo ( $Ce\_Mínimo$ ) é um componente coletivo que deve ser calibrado para cada plataforma. Isto ocorre por que o consumo elétrico pode diferir de arquitetura para arquitetura, sofrendo impacto da distribuição e versão do *hypervisor*. A calibragem da plataforma para obter o consumo mínimo segue o esquema da Figura 10.

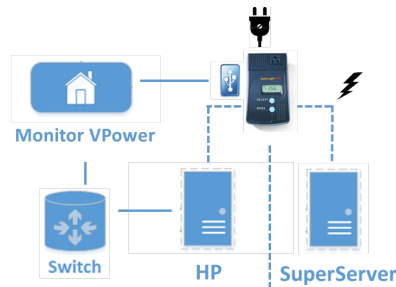


Figura 10 – Ambiente de teste para medir o consumo elétrico mínimo e máximo. Fonte: produção do próprio autor.

Neste trabalho, foram empregados dois hospedeiros distintos:

- Nó SuperServer: representa um servidor de *rack* padrão presente em muitos *data centers*, sendo um equipamento muito comum em nuvens comerciais; e
- Nó HP: foi incluído nos experimentos para revelar o consumo de energia de um equipamento *desktop* colocado em ambientes de servidores.



Em vários *data centers* de pequeno e médio porte não é difícil encontrar *desktops* para auxiliar em tarefas de processamento em lote (e.g., Hadoop). Pode-se, ainda observar na Figura 10, a existência do coletor de dados, monitor de energia, comutador e, para cada calibragem, um hospedeiro. A medição do consumo mínimo ocorre quando o hospedeiro encontra-se ligado, sem máquinas virtuais ativas, porém com os seus serviços básicos em execução.

No cenário apresentado na Figura 10 são realizados os seguintes experimentos:

- Cenário 1-1: leitura do consumo mínimo e máximo do Hospedeiro HP; e
- Cenário 1-2: leitura do consumo mínimo e máximo do Hospedeiro SuperServer.

O segundo componente da calibragem estabelece a relação entre o consumo de energia e a taxa de utilização de processador. A aplicação do Modelo Virtual Power a um hospedeiro exige a calibragem desta relação no *hypervisor* e na máquina virtual. Tanto no hospedeiro quanto na máquina virtual, são aplicadas cargas constantes e crescentes com intervalos de 5%, iniciando-se em 0% e terminando em 100%.

Os cenários especificados para identificação desta relação são:

- Cenário 2-1: *hypervisor* no Hospedeiro HP;
- Cenário 2-2: máquina virtual com 4 vCPUs no Hospedeiro HP;
- Cenário 2-3: *hypervisor* no Hospedeiro Superserver; e
- Cenário 2-4: máquina virtual com 24 vCPUs no Hospedeiro Superserver.

O Modelo Virtual Power baseia-se nesta relação para estimar o consumo de energia do *hypervisor*, cenários 2-1 e 2-3, na gerência das máquinas virtuais (*Ce\_Gerenciador*). Os cenários 2-2 e 2-4 permitem ao modelo estimar o consumo de energia por vCPU associado a máquina virtual (*Ce\_vm*).

O último componente da calibragem é a obtenção da relação entre o consumo de energia e a quantidade de bits trafegados por interface de rede da máquina virtual. Todas as máquinas virtuais existentes provêm interfaces de redes virtuais idênticas a suas similares reais, isto é, possuem endereços MAC e podem ser interligadas em equipamentos de interconexão de redes, como *switches* e roteadores (CARISSIMI, 2008).

Em ambientes paravirtualizados do tipo *bare metal*, utilizado pelo Virtual Power, o *hypervisor* é o único responsável pelo gerenciamento de todas as solicitações de entrada e saída no hospedeiro. Estas solicitações são originadas no próprio *hypervisor* ou nas máquinas virtuais. A transferência de dados, efetuada exclusivamente pelo *hypervisor*, independente do solicitante, impacta no uso do processador do *hypervisor*. Portanto, para o Modelo Virtual Power, o consumo de energia para a transferência de dados é representado pelo consumo de energia do processador do *hypervisor* para a transferência de dados na rede em Mbps.

A aplicação do Modelo Virtual Power exige a calibração do hospedeiro com o intuito de estabelecer a relação, consumo de energia *vs.* quantidade de bits trafegados por interface virtual. A calibragem da plataforma para obter esta relação segue o esquema da Figura 11.

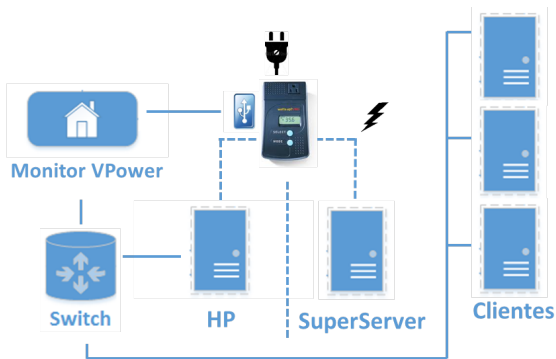


Figura 11 – Ambiente de teste para medir o consumo elétrico. Fonte: produção do próprio autor.

O esquema da Figura 11 estende o apresentado na Figura 10, incluindo 3 computadores (modelo *desktop* HP). Estas máquinas HP hospedam os serviços de Iperf. Os clientes, lançados nos hospedeiros (Superserver/HP), geram cargas constantes e crescentes com períodos de 100 e 1000Mbps, que iniciam em 100 Mbps e terminam em 11000 Mbps. Os primeiros 10 intervalos o período é de 100 Mbps e os outros 10, o período é de 11000. O consumo de energia é vinculado a quantidade de bits trafegados pelas máquinas virtuais.

Os cenários especificados para identificação desta relação são:

- Cenário 3-1: *hypervisor* com uma CPU e máquinas virtuais com clientes e servidores no Hospedeiro HP. O número de clientes e

servidores varia entre 1 e 3, comunicando-se par a par, cada cliente a um servidor;

- Cenário 3-2: semelhante ao cenário 1, alterando-se, simplesmente, o hHospedeiro HP pelo Hospedeiro Superserver;
- Cenário 3-3: *hypervisor* com uma CPU, máquinas virtuais com clientes no Hospedeiro HP e servidores Iperf nos computadores HP. O número de clientes e servidores varia entre 1 e 3, comunicando-se par a par, cada cliente a um servidor; e
- Cenário 3-4: semelhante ao cenário 3, alterando-se, simplesmente, o Hospedeiro HP pelo Hospedeiro Superserver.

O Modelo Virtual Power baseia-se nesta relação para estimar o consumo energia elétrica *vs.* Mbps ( $Ce\_Entrada\_Saida$ ) por interface virtual.

## 4.2 Definição do ambiente de experimentação

A precisão do resultado da aplicação do modelo de custo Virtual Power depende da calibragem da plataforma. Na Seção 4.1.1, estão descritos os componentes do caso de uso do modelo definido-se os cenários necessários a calibração. Os *hardwares* utilizados nos cenários estão descritos na Seção 4.1.

A calibração é constituída por três elementos: consumo mínimo, relação de consumo energia *vs.* taxa de utilização do processador e a relação consumo de energia *vs.* taxa de utilização de E/S por máquina virtual. O primeiro elemento, consumo mínimo, possui somente dois cenários. O experimento tem por objetivo medir o consumo de energia elétrica da máquina física sob condições mínimas de uso dos recursos. A relação de consumo de energia *versus* taxa de utilização de processador tem como objetivo estimar o consumo de energia por máquina virtual, dinamicamente, por hora. Quatro cenários foram definidos. Finalmente, a relação do consumo de energia *versus* taxa de utilização de E/S por máquina virtual tem como objetivo estimar o consumo de energia por Mbps trafegados por máquina virtual. Outros quatro cenários foram definidos.

Cada um dos resultados apresentados na Seção 4.3 utilizam um dos cenários especificados vinculado a um dos elementos. Os resultados das medições apresentados posteriormente são oriundos de 10 amostras (medições distintas), sendo que cada ponto apresentado nos gráficos é a média do consumo elétrico lido por um período de 7 minutos (com

intervalo de 1 segundo). É desconsiderado os 2 primeiros minutos da medição com o propósito de eliminar leituras feitas enquanto a carga de trabalho aplicada ao processador não está estabilizada, após estas leituras é realizado a média das amostras para cada ponto. O período de medição varia de cenário para cenário, enquanto os cenários vinculados a taxa de utilização do processador tem período de 5% de crescimento pela carga de trabalho, aqueles vinculados a quantidade de dados trafegados por máquina virtual tem períodos iniciais entre 100 a 1000 Mbps e após de 1000 a 11000 Mbps. Em todos os cenários, o *hypervisor* possui somente uma vCPU.

#### 4.2.1 Descrição dos experimentos

Os experimentos estão divididos em três grupos seguindo os componentes da calibração. São eles: consumo mínimo, relação de consumo energia *versus* taxa de utilização do processador e a relação consumo de energia *versus* taxa de utilização de E/S por máquina virtual.

- Experimento consumo mínimo: constituído pelo ambiente de teste descrito no esquema da Figura 9, possui dois cenários, não utiliza-se de *software* de geração de carga e obtém os dados através do *software* Peter Bailey watts-up que faz a leitura dos dados do wattímetro via conexão *USB*;
- Experimentos relação de consumo energia *vs.* taxa de utilização do processador: constituído pelo ambiente de teste descrito no esquema da Figura 9. Neste ambiente, foram definidos os quatro cenários especificados na Subseção 4.1.1. Os *softwares* de geração de carga no processador utilizados foram stress, cpulimit e o CPU load script. O CPU load script controla o cpulimit e stress. A carga gerada foi configurada para variar de 5 a 100%. A obtenção dos dados é através dos *softwares* Peter Bailey watts-up que faz a leitura dos dados do wattímetro via conexão *USB* que alimenta o *software* de coleta de dados desenvolvido especificamente para obtenção de dados de calibragem para o Modelo Virtual Power; e
- Experimentos do consumo de energia *versus* taxa de utilização de E/S por máquina virtual: constituído pelo ambiente de teste descrito no esquema da Figura 11. Neste ambiente, foram definidos os quatro cenários especificados na Subseção 4.1.1. Os *softwares* de geração de carga de rede utilizados foram Iperf cliente e o Iperf

servidor. A carga gerada variou de 100 a 11000. A obtenção dos dados é através dos *softwares* Peter Bailey watts-up que faz a leitura dos dados do wattímetro via conexão *USB* que alimenta o *Software* de coleta de dados desenvolvido especificamente para obtenção de dados de calibragem para o Modelo Virtual Power.

#### 4.2.2 Limitações do ambiente de experimentação

O ambiente de testes deve ser alocado exclusivamente ao procedimento de calibração. Isso ocorre porque a execução de qualquer outro processo, no *hypervisor* ou em máquinas virtuais, consome energia e, portanto, interfere no estabelecimento da relação de consumo *vs.* recursos. Finalmente, a instalação física do coletor e monitor de dados deve ser feita dentro do próprio *data center*.

### 4.3 Experimentação e resultados

Nas Seções 4.1 e 4.2 são definidos: os *hardwares* do ambiente de teste, os componentes deste ambiente e suas funções, os *softwares* de *benchmarks* e monitoração, os elementos necessários a calibração e dez cenários de teste. Nesta seção são apresentados os resultados obtidos em cada cenário.

#### 4.3.1 Consumo mínimo de energia por hospedeiro

O primeiro experimento refere-se ao elemento da calibração para estabelecer o consumo mínimo de energia por hospedeiro. O ambiente definiu dois hospedeiros, o HP e o Superserver, sendo o experimento aplicado a cada um dos cenários. O cenário 1-1, composto pelo Hospedeiro HP, obteve como resultado do consumo mínimo 74 watts. Neste mesmo cenário com o Hospedeiro HP, foi mensurado o consumo de energia com carga de trabalho máxima (100%). O resultado obtido foi 160 watts. O cenário 1-2, composto pelo Hospedeiro SuperServer, obteve como resultado do consumo mínimo 116 watts e o consumo de energia com carga de trabalho máxima (100%) foi de 201 watts.

#### 4.3.2 Consumo energia *vs.* taxa de utilização do processador

O segundo conjunto de experimentos refere-se a relação de consumo de energia *vs.* taxa de utilização do processador. Os experimentos são aplicados aos quatro cenários. Com o objetivo de apresentar a maior variação ou “dispersão” existente em relação à média (ou valor

esperado), o maior desvio padrão de cada resultado é apresentado e os resultados comentados.

A Figura 12 descreve esta relação no cenário 2-1, tendo no eixo  $X$  a carga de trabalho do processador e no eixo  $Y$  o consumo de energia em watts e em percentuais. O maior desvio padrão destes resultados foi de 97,98 watts quando a carga estava em 45% com 3 vCPUs, desvio padrão de 2,63%.

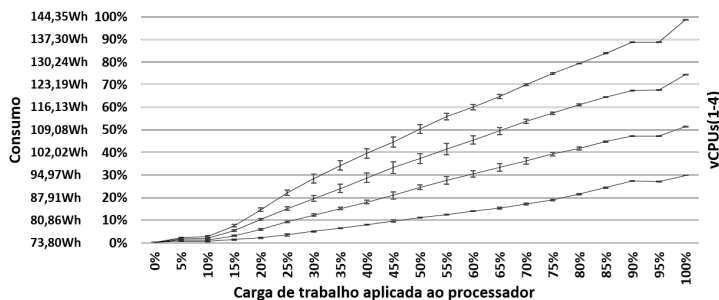


Figura 12 – Consumo de energia *versus* taxa de utilização do processador - Cenário 2-1. Fonte: produção do próprio autor.

Na Figura 12 é possível verificar que a região com 0% e 5% de carga aplicada ao processador apresenta um consumo elétrico menos acentuado. Sendo que as leituras com maior desvio padrão se concentraram no consumo entre 20% e 80%.

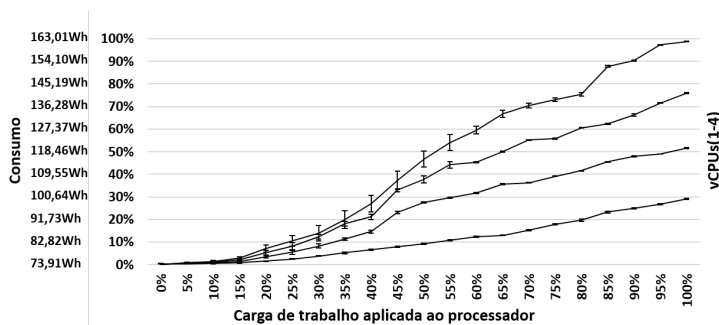


Figura 13 – Consumo de energia *versus* taxa de utilização do processador - Cenário 2-2. Fonte: produção do próprio autor.

A Figura 13 apresenta os dados desta relação no cenário 2-2,

tendo no eixo  $X$  a carga de trabalho do processador e no eixo  $Y$  o consumo de energia em watts e em percentuais. O maior desvio padrão destes resultados foi de 107,13 watts quando a carga estava em 45% com 4 vCPUS, desvio padrão de 4,10%.

Na Figura 13 é possível verificar que a região com 0% e 20% de carga aplicada ao processador apresenta um consumo elétrico menos acentuado. Sendo que as leituras com maior desvio padrão se concentraram com o uso de 4 vCPUS.

A Figura 14 descreve esta relação no cenário 2-3, tendo no eixo  $X$  a carga de trabalho do processador e no eixo  $Y$  o consumo de energia em watts e em percentuais. O maior desvio padrão destes resultados foi de 188,99 watts quando a carga estava em 60% com 22 vCPUS, desvio padrão de 2,29%.

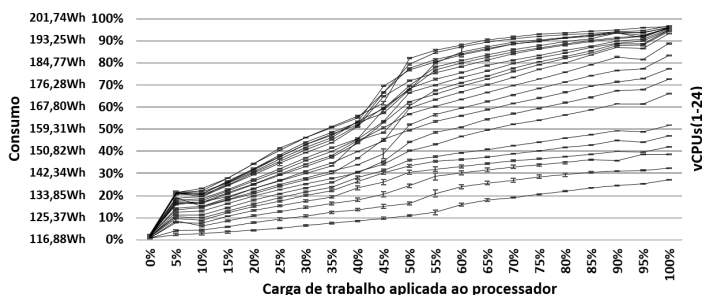


Figura 14 – Consumo de energia *versus* taxa de utilização do processador - Cenário 2-3.

Na Figura 14 é possível verificar que a região com 0% e 10% de carga aplicada ao processador apresenta um consumo elétrico mais acentuado, um pico no consumo. Entre 35% e 55% ocorre um comportamento não esperado, onde os consumos elétricos pela utilização do processador se cruzam em alguns pontos, sendo que esta região apresentou desvio padrão idêntico aos de outras regiões. Entre a região de 85% a 100% com o uso de mais de 16 vCPUs houve uma saturação no uso do processador.

A Figura 15 descreve esta relação no cenário 2-4, tendo no eixo  $X$  a carga de trabalho do processador e no eixo  $Y$  o consumo de energia em watts e em percentuais. O maior desvio padrão destes resultados foi de 184.79 watts quando a carga estava em 100% com 12 vCPUS, desvio padrão de 5,35%.

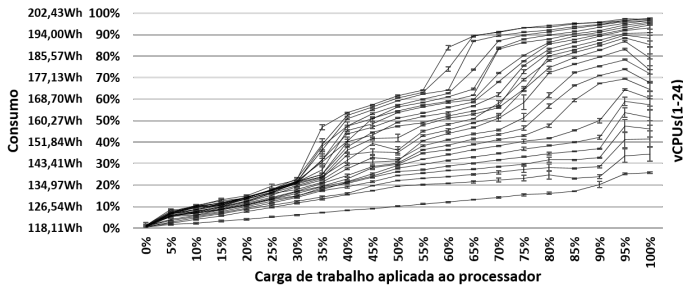


Figura 15 – Consumo de energia *versus* taxa de utilização do processador - Cenário 2-4. Fonte: produção do próprio autor.

Na Figura 15 é possível verificar que a região com 0% e 30% de carga aplicada ao processador apresenta um consumo elétrico menos acentuado, diferente do comportamento verificado na Figura 15. Entre 55% e 75% ocorre um pico no consumo. Entre a região de 85% a 100% com o uso de mais de 16 vCPUs houve uma saturação no uso do processador.

Estas medições comprovam a necessidade de ler o consumo para cada processador, cada qual apresenta um comportamento padrão de crescimento do consumo de energia elétrica pelo uso do processador pela carga de trabalho aplicada.

#### 4.3.3 Consumo de energia vs. taxa de utilização de E/S por máquina virtual

O terceiro conjunto de experimentos refere-se a relação de consumo de energia *vs.* taxa de utilização de E/S por máquina virtual. Os experimentos são aplicados aos quatro cenários. Nestes cenários ao aplicar carga de trabalho a interface de rede virtual é possível verificar o consumo elétrico pelo uso do processador pelo *hypervisor* do hospedeiro. Com o objetivo de apresentar a maior variação ou “dispersão” existe em relação à média (ou valor esperado), o maior desvio padrão de cada resultado é apresentado e os resultados comentados.

A Figura 16 descreve esta relação no cenário 3-1, tendo no eixo *X* a quantidade de dados trafegados (Mbps) e no eixo *Y* o consumo de energia em watts. O maior desvio padrão destes resultados foi de 46,03 watts quando a carga estava em 3000Mbps (3 Gbps), desvio padrão de 1.15%.



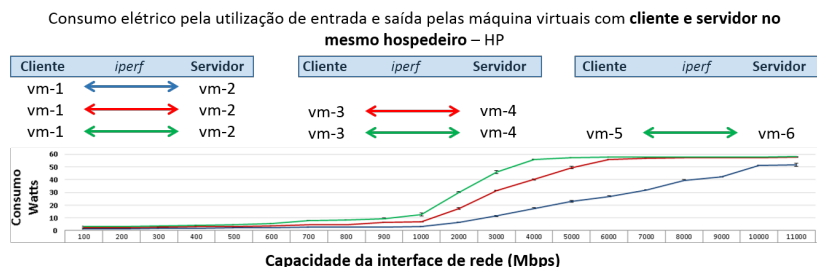


Figura 16 – Consumo de energia *versus* tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-1. Fonte: produção do próprio autor.

Na Figura 16 é possível verificar que o consumo de energia elétrica pela quantidade de *bits* trafegados é maior que o apresentado na Figura 17. Esta diferença ocorre devido ao uso do processador do *hyper-visor* do hospedeiro pela utilização de entrada e saída pelas máquinas virtuais com cliente e servidor no mesmo hospedeiro. Com a mudança da capacidade da interface de rede de 100 para 1000 Mbps ocorre também aumento no consumo de energia elétrica, o que é esperado, sendo que este consumo chega ao limite da utilização da interface de entrada e saída.

A Figura 17 descreve esta relação no cenário 3-2, tendo no eixo *X* a quantidade de dados trafegados (Mbps) e no eixo *Y* o consumo de energia em watts. O maior desvio padrão destes resultados foi de 7,26 watts quando a carga estava em 4000Mbps (4 Gbps), desvio padrão de 1.43%.

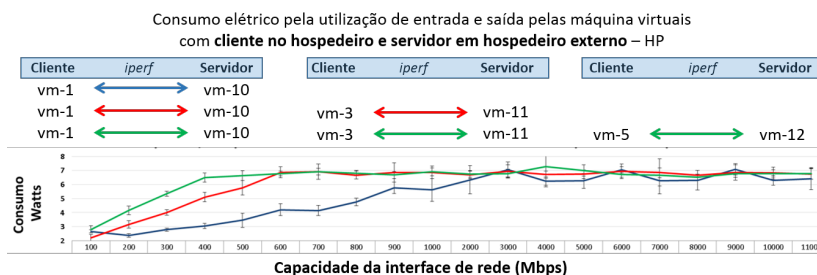


Figura 17 – Consumo de energia *versus* tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-2. Fonte: produção do próprio autor.

Na Figura 17 é possível verificar que o consumo de energia elétrica pela quantidade de *bits* trafegados é menor que o apresentado na Figura 16. Esta diferença ocorre devido ao menor uso do processador do *hypervisor* do hospedeiro pela utilização de entrada e saída pelas máquinas virtuais com cliente e servidor em hospedeiro externo. Com a mudança da capacidade da interface de rede de 100 para 1000 Mbps não ocorreu aumento no consumo de energia elétrica, pois o uso de *bits* chega ao limite da utilização da interface física (*hardware*) de 1 Gbps.

A Figura 18 descreve esta relação no cenário 3-3, tendo no eixo *X* a quantidade de dados trafegados (Mbps) e no eixo *Y* o consumo de energia em watts. O maior desvio padrão destes resultados foi de 23,32 watts quando a carga estava em 10000Mbps (10 Gbps), desvio padrão de 3,25%.

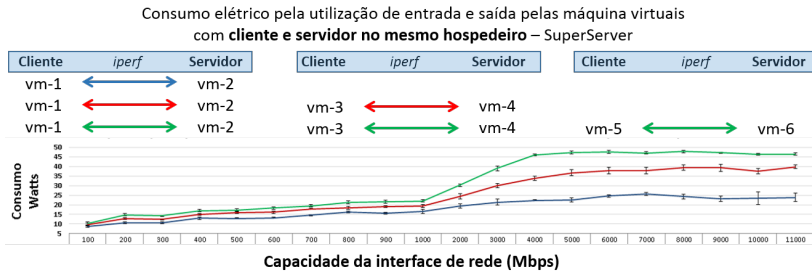


Figura 18 – Consumo de energia *versus* tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-3. Fonte: produção do próprio autor.

Na Figura 18 é possível verificar que o consumo de energia elétrica pela quantidade de *bits* trafegados é maior que o apresentado na Figura 19. Esta diferença ocorre devido ao uso do processador do *hypervisor* do hospedeiro pela utilização de entrada e saída pelas máquinas virtuais com cliente e servidor no mesmo hospedeiro. Com a mudança da capacidade da interface de rede de 100 para 1000 Mbps ocorre também aumento no consumo de energia elétrica, o que é esperado, sendo que este consumo chega ao limite da utilização da interface de entrada e saída.

A Figura 19 descreve esta relação no cenário 3-4, tendo no eixo *X* a quantidade de dados trafegados (Mbps) e no eixo *Y* o consumo de energia em watts. O maior desvio padrão destes resultados foi de 16,83 watts quando a carga estava em 11000Mbps (11 Gbps), desvio padrão de 2,10%.

Na Figura 19 é possível verificar que o consumo de energia

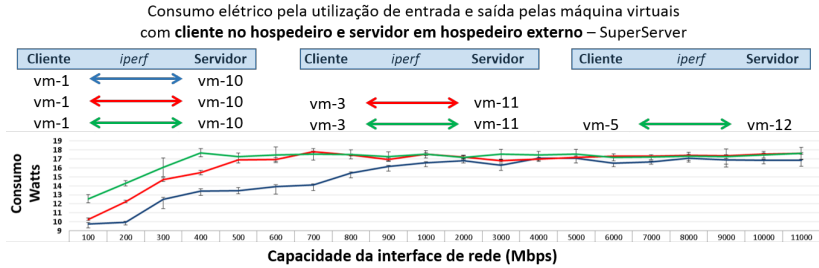


Figura 19 – Consumo de energia *versus* tráfego de rede por máquina física - Cenário 3-4. Fonte: produção do próprio autor.

elétrica pela quantidade de *bits* trafegados é menor que o apresentado na Figura 18. Esta diferença ocorre devido ao menor uso do processador do *hypervisor* do hospedeiro pela utilização de entrada e saída pelas máquinas virtuais com cliente e servidor em hospedeiro externo. Com a mudança da capacidade da interface de rede de 100 para 1000 Mbps não ocorreu aumento no consumo de energia elétrica, pois o uso de *bits* chega ao limite da utilização da interface física (*hardware*) de 1 Gbits.

## 4.4 Análise dos resultados

Os cenários de teste apresentados permitem identificar a viabilidade do modelo de custo Virtual Power através da análise dos dados coletados. Os resultados apresentados na Seção 4.3 definem o consumo elétrico de cada ponto previamente definido na Figura 5. Estes resultados são úteis para conhecer em detalhes o comportamento do consumo elétrico e os dados coletados são necessários para aplicar o modelo de custo Virtual Power.

### 4.4.1 Consumo mínimo de energia por hospedeiro

No cenário 1-1 o hospedeiro HP tem um consumo elétrico mínimo de aproximadamente 74 Watts, representando aproximadamente 46% do consumo total do hospedeiro considerando que o consumo elétrico máximo aferido nos experimentos com base no cenário 2-2 foi de 163 Watts, uma diferença de 89 Watts.

No cenário 1-2 o hospedeiro SuperServer tem consumo elétrico mínimo de aproximadamente 118 Watts, representando aproximadamente 58% do consumo total do hospedeiro considerando que o con-

sumo elétrico máximo aferido nos experimentos com base no cenário 2-4 foi de 202 Watts, uma diferença de 84 Watts.

Ambos os resultados apresentam que o consumo elétrico mínimo é representativo, um custo coletivo que deve ser considerado em um modelo de custo que utilize *pay-as-you-use*. Os valores encontrados indicam que o consumo de energia resultante em manter ligado um hospedeiro sem máquinas virtuais ativas em um *data center* são relevantes.

#### 4.4.2 Consumo energia vs. taxa de utilização do processador

O consumo de energia elétrica é crescente pelo uso do processador e vCPUS e dependente do processador utilizado. Em todas as medições o consumo elétrico foi representativo e isto reforça a intenção do modelo de custo Virtual Power.

#### 4.4.3 Consumo de energia vs. taxa de utilização de E/S por máquina virtual

As operações de entrada e saída utilizam os recursos do processador do *hypervisor*, que consome energia elétrica. Sendo assim, é possível ter um valor de consumo elétrico por *bit* trafegado, sendo que o uso do processador do gerenciador é menor em transmissão com máquinas físicas distintas.

Isso ocorre porque ao utilizar a transmissão externa o limite da interface de rede é atingido em 1000 Mbits, essa limitação não ocorre na mesmo hospedeiro. A comunicação entre duas máquinas virtuais hospedadas em um mesmo servidor não são limitadas pela velocidade do meio de transporte físico (e.g., *Ethernet* baseada em pares metálicos com RJ45 usando cabos Categoria 6) e sim pela velocidade do barramento do *hardware* hospedeiro (e.g., PCIE).

#### 4.4.4 Comportamento do consumo elétrico pelas máquinas virtuais no hospedeiro

O comportamento do consumo elétrico por máquinas virtuais foi apresentado no Capítulo 3, sendo que este comportamento é verificado nessa seção. A primeira hipótese avaliada consiste em verificar através do ambiente de medição se o consumo elétrico pelo uso do processador pela máquina virtual interfere na utilização do processador do *hypervisor*. Para esta avaliação são aplicadas cargas de trabalho controladas no hospedeiro HP e os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Coleta de dados do consumo hospedeiro HP - I. Fonte: produção do próprio autor.

<i>Leitura</i>	Carga	<i>Uso</i>	<i>C<sub>evm</sub></i>	<i>vCPUS</i>	<i>SO</i>
1	<i>hypervisor</i>	<b>0.73%</b>	0,15W	4	XenServer
1	19,36%	vm-1	1,38W	1	Ubuntu
1	25,56%	vm-2	2,26W	1	Ubuntu
1	29,66%	vm-3	3,44W	1	Ubuntu
1	34,76%	vm-4	4,63W	1	Ubuntu
2	<i>hypervisor</i>	<b>1.34%</b>	0,2W	4	XenServer
2	50,00%	vm-1	25,1W	2	Ubuntu
2	50,00%	vm-2	25,1W	2	Ubuntu

Nas leituras 1 e 2 apresentadas na Tabela 4, o uso do processador pelo *hypervisor* permaneceu constante, as leituras retornaram resultados próximo a 1%, ou seja, o consumo do processador pelas instâncias não afeta o *hypervisor*.

A segunda hipótese avaliada consiste em verificar através do ambiente de medição se o consumo elétrico pelo uso do processador com  $n$  instâncias ativas com  $y$  vCPU é próximo de uma instância com  $n$  vCPUs usando cargas de trabalho compatíveis. Para esta avaliação são aplicadas cargas de trabalho controladas no hospedeiro HP e os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Coleta de dados de consumo hospedeiro HP - II. Fonte: produção do próprio autor.

<i>Leitura</i>	Carga	<i>Uso</i>	<i>C<sub>evm</sub></i>	<i>vCPUS</i>	<i>SO</i>
4	<i>hypervisor</i>	<b>0.51%</b>	0,11W	4	XenServer
4	100%	vm-1	22.1W	1	Ubuntu
4	100%	vm-2	22.1W	1	Ubuntu
4	100%	vm-3	22.0W	1	Ubuntu
4	100%	vm-4	21.8W	1	Ubuntu
5	<i>hypervisor</i>	<b>0.49%</b>	0,10W	4	XenServer
5	100%	vm-1	87,59W	4	Ubuntu

É possível verificar através dos resultados da Tabela 5 que o consumo elétrico apresentado pela leitura 5 (87,59 Watts) é idêntico ao consumo elétrico apresentado pela soma dos consumos da leitura 4 (88 Watts).

A terceira hipótese avaliada consiste em verificar se ter várias máquinas virtuais ativas sem uso afeta o consumo do gerenciador de máquinas virtuais. Para esta avaliação são aplicadas cargas de trabalho controladas no hospedeiro HP e os resultados apresentados na Tabela 6.

É possível verificar através dos resultados da Tabela 6 que ter

Tabela 6 – Coleta de dados de consumo hospedeiro HP - III. Fonte: produção do próprio autor.

		<i>Uso</i>	<i>C<sub>evm</sub></i>	<i>vCPUS</i>	<i>SO</i>
<i>Leitura</i>	Carga	—	73,91W	—	—
-	<i>hypervisor</i>	<b>0,7%</b>	0.9W	4	XenServer
1	0%	vm-1	0.1W	1	Ubuntu
2	0%	vm-2	0.2W	1	Ubuntu
3	0%	vm-3	0.1W	1	Ubuntu
4	0%	vm-4	0.3W	1	Ubuntu

várias máquinas virtuais ativas sem uso praticamente não afeta o consumo do gerenciador de máquinas virtuais.

## 4.5 Estudo de caso

Na Seção 4.3, os resultados apresentados restringiram-se à comprovação de que o método proposto pelo Modelo Virtual Power tem como finalidade estabelecer as relações entre consumo de energia pela taxa de utilização do processador e quantidade de entrada e saída. Contudo, a utilidade do modelo de custo Virtual Power está na composição da precificação da alocação de serviços IaaS para nuvem computacional.

Segundo o quadrante dos principais fornecedores de serviço IaaS emitido pelo Grupo Gartner (detalhes na Subseção 2.2.4), a Amazon EC2 figura como o melhor provedor de serviços IaaS para computação na nuvem tanto sob os aspectos de visão de negócio como de capacidade de execução. A tabela de custos/hora dos serviços de IaaS fornecidos pela Amazon é extensa e combina a precificação da alocação de recursos essenciais (vCPUs, memória e disco) com serviços extras (tolerância a faltas e segurança). O valor final por instância ainda considera outros custos fixos do TCO que não são objetos de análise do Modelo Virtual Power.

O modelo de custo no serviço Amazon EC2 não é público e, portanto, não é possível descrever detalhadamente sobre os componentes do TCO. O objetivo desta seção é estimar o comportamento do modelo de custo Virtual Power aplicado a precificação da Amazon EC2. O foco de atuação do modelo Virtual Power é a precificação dos recursos virtuais de um serviço IaaS baseando-se no consumo variável de energia, sendo que o critério de cobrança aplicado a esta precificação é o consumo de energia *vs.* a utilização do recurso processador e entrada e saída.

#### 4.5.1 Modelo Virtual Power vs. Precificação do serviço AWS EC2

A solução AWS EC2 possui serviços de IaaS baseado no modelo de negócio *pay-as-you-go* e *pay-as-you-use*. A alocação de serviços IaaS com *pay-as-you-go* define tarifas/horas contratuais mensais fixas independente da utilização dos recursos solicitados. O usuário pagará o mesmo valor fixo mensal com a máquina virtual ativa ou não, com armazenamento de 10GB e 100GB de tráfego dados. O modelo de negócio *pay-as-you-use* oferecido pelo AWS EC2 precifica o serviço de IaaS alocado por hora e possui tarifação mensal variável. Esta variação no custo mensal é decorrente da utilização (ativação) da máquina virtual, da quantidade de dados armazenados ou da quantidade de dados trafegados. Ambos os modelos de negócio consideram em seus TCOs o custo com energia elétrica consumido pelo hospedeiro físico. Todavia, este custo não é detalhado ao usuário e, principalmente, não é ponderado segundo o consumo efetivo do serviço de IaaS locado. A aplicação do modelo de negócio *pay-as-you-use* no serviço AWS EC2 (IaaS) resume-se a contabilização para cobrança de serviços ativos no período a ser tarifado.

Sabendo-se que o consumo de energia elétrica pelos equipamentos de TI é responsável por 52% do consumo de energia e que a energia elétrica é responsável por grande parte dos custos variáveis de um *data center*, considerar o consumo de energia dos equipamentos de TI é essencial para a composição dos custos. O processo de precificação do serviço AWS EC2 certamente considera o consumo de energia com equipamentos de TI no seu TCO. Contudo, ela não vincula o consumo de energia à utilização dos recursos, pois uma mesma máquina virtual alocada sob o modelo *pay-as-you-use* no período de uma hora é tarifada exatamente no mesmo valor, tendo o seu processamento a 90% ou a 5%. A Amazon também não publica qual é o custo de energia embutido no custo/hora do serviço AWS EC2.

Este trabalho busca identificar o comportamento da tarifação do serviço IaaS baseado no modelo de negócio *pay-as-you-use*. Como a informação sobre o valor do custo de energia por serviço AWS EC2 não é pública, são consideradas cinco faixas para comparação: 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, sendo que a faixa de 15% é o resultado de um levantamento feito em vários *data centers*, de médio porte nos EUA, onde o valor utilizado pelo uso do processador (ENP, 2008). Este trabalho é de 2008 e o consumo dos processadores pode ter mudado, por isso outras faixas serão consideradas neste estudo de caso.

O Modelo Virtual Power considera as informações obtidas através da calibragem das relações consumo de energia *vs.* taxa de utiliza-

ção de recursos em uma plataforma específica. Esta calibragem, como descrito em Subseção 4.1.1, necessita do acesso ao *hypervisor* e, conseqüentemente, acesso de administrador da nuvem computacional. O acesso como administrador no AWS EC2 não foi possível para o desenvolvimento deste trabalho. Porém, dentre as plataformas disponíveis no sítio web do AWS EC2 é possível encontrar uma plataforma semelhante a utilizada no LABP2D para a calibração. A plataforma da Amazon EC2 escolhida para comparação foi a m4.4xlarge<sup>7</sup>. O *hardware* da m4.4xlarge é modelo 6027R-TRF com 2 processadores Intel Xeon E5-2600 com 16 núcleos, 30MB cache total, 64GB (DDR3 DIMM), 2 discos 1 TB SATA (7200 rpm), fonte 740W redundante e os controladores de rede modelo Intel i350 Port Gigabit Ethernet RJ45.

O custo do serviço AWS EC2 possui uma variação de *data center* para *data center*, segundo a sua localização geográfica e projeto de infraestrutura. Esta variação no custo do serviço IaaS ocorre, principalmente, devido a diferença do consumo de energia do *data center*, ocasionado pela localização geográfica ou pela infraestrutura, mas também pela diferença no valor quilowatt-hora (kWh) da distribuidora de energia e impostos. Este estudo de caso baseou-se nos valores praticados para o AWS EC2 em um serviço IaaS usando uma instância de VM tipo m4.4xlarge no *data center* US West localizado no Estado de Oregon no Estados Unidos. O valor do quilowatt-hora (kWh) comercial médio<sup>8</sup> no estado americano é de US\$ 0,10.

O último componente necessário para a comparação é a estimação do consumo de energia mínimo do hospedeiro no AWS EC2. Para isso, considerou-se o fato de que o hospedeiro no AWS EC2 escolhido é da mesma família de processador do Hospedeiro SuperServer do LabP2D e que os demais componentes físicos das duas máquinas consomem a mesma quantidade de energia. O consumo elétrico de todos os processadores no Hospedeiro SuperServer pode ser obtido pela subtração do consumo com carga máxima (100%) pelo consumo com carga mínima (<5%). Portanto, o consumo por processador pode ser obtido através da divisão do consumo total de processadores (85 watt-hora) pelo número de processadores (24), chegando ao resultado de 3,54 watts processador/hora. Por analogia, pode-se inferir que o consumo máximo do hospedeiro m4.4xlarge é 173 watts/hora. O consumo máximo do hospedeiro m4.4xlarge é utilizado como base de cálculo das faixas (25%, 50% e 75%) de custo pelo consumo de energia no serviço AWS EC2 da Amazon.

<sup>7</sup> <<http://www.ec2instances.info/?filter=m4.4xlarge>>

<sup>8</sup> <<http://www.statista.com/statistics/263492/>>



Finalmente, o cenário de comparação entre o custo de um serviço em IaaS hospedado no AWS EC2 com o modelo de negócio *pay-as-you-use*, baseado no consumo de energia do processador é constituído: pelas estimativas, em percentuais (25%, 50% e 75%), sobre o custo de energia elétrica considerado no TCO do AWS EC2, pela escolha da plataforma específica do hospedeiro semelhante ao Hospedeiro Super-Server, custo de energia watts/hora nos Estados Unidos, local onde o *data center* da Amazon onde o serviço AWS EC2 é executado, e a estimativa do custo máximo do hospedeiro m4.4xlarge. Os resultados obtidos são listados na Figura 20.

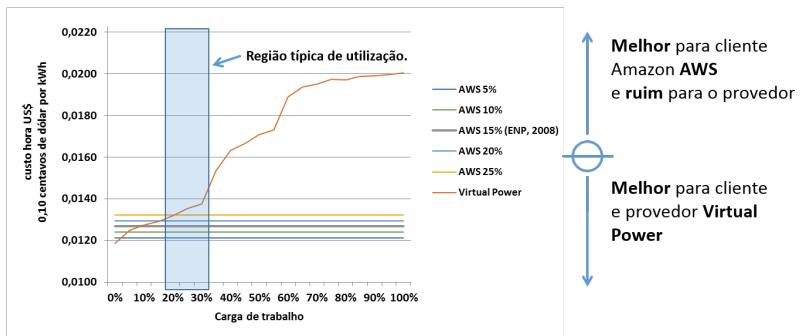


Figura 20 – Pontos de equilíbrio de custo em dólar americano aplicados aos modelos de custo Virtual Power e AWS no hospedeiro Superserver 24 vCPUS e AWS EC2 com instância m4.4xlarge com 16 vCPUS. Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados desta comparação (Figura 20) possui no eixo *X* disposta a carga de trabalho aplicada (0% a 100%) e no eixo *Y* o valor cobrado por serviço IaaS/hora em dólar (USD). O comportamento do custo de seis situações são observados. As cinco primeiras são constantes e representam o custo estimado atualmente tarifado no AWS EC2, considerando o percentual de custo do consumo de energia em 5%, 10%, 15%, 20% e 25%. O último comportamento é variável e representa a tarifação do Modelo Virtual Power. É importante observar que a aplicação do Modelo Virtual Power ao serviço AWS EC2 da Amazon permitiria uma análise mais detalhada dos custos envolvidos no TCO e, principalmente, permitiria a aplicação ao modelo de negócio *pay-as-you-use* o conceito de uso propriamente dito, pois o consumo de energia varia em período discretos segundo a utilização do recurso.

Aplicar o modelo de custo Virtual Power é economicamente viável para os clientes da nuvem ou para o provedor? Inicialmente é desejável conhecer qual a média de utilização típica de um *data center*. Ao conhecer a média de utilização é possível inferir quando a Amazon utiliza no AWS EC2 na composição do TCO e o percentual de custo do consumo de energia. O trabalho de (BARROSO; HÖLZLE, 2007) apresenta que a utilização típica dos servidores nos *data centers* está entre 10% a 50%, uma média de 30%, neste mesmo contexto o trabalho de (MEISNER; GOLD; WENISCH, 2009) apresenta que a utilização típica dos servidores nos *data centers* está entre 20-30%. Ao considerar que a Amazon, no serviço AWS EC2, utiliza na composição do TCO o percentual de custo do consumo de energia em 15% do consumo, um valor acima da média de utilização, para os clientes na média implica que utilizar o Modelo Virtual Power é economicamente viável. Quando o percentual de custo do consumo de energia estiver próximo a 15%, ambos os modelos retornam custos idênticos, porém ao considerar que o modelo *pay-as-you-use* deve tarifar apenas pelo que é utilizado, Modelo Virtual Power é a escolha adequada em qualquer caso.

## 4.6 Considerações parciais

A definição de um ambiente de testes é essencial à prospecção de resultados experimentais. O modelo de custos Virtual Power baseia-se em algumas informações experimentais, mais especificamente: a calibragem da plataforma. Esta calibragem é necessária devido as diferentes características de consumo de energia dos recursos físicos, principalmente, do processador. As informações para a calibragem são: consumo mínimo, relação entre consumo de energia *vs.* taxa de utilização do processador e a relação entre consumo de energia *vs.* quantidade de dados trafegados por máquina virtual.

Ao todo dez cenários foram descritos, dois para obtenção do consumo mínimo, quatro para a relação com taxa de utilização do processador e quatro para a relação com quantidade de dados trafegados por máquina virtual. Os resultados permitem definir o consumo mínimo dos hospedeiros, o SuperServer com 116 watts/hora e o HP 74 watts/hora. A relação entre o consumo de energia *vs.* taxa de utilização do processador apresentou o comportamento crescente esperado, tendo como maior desvio padrão um valor pouco acima de 5%. Os resultados obtidos com a relação entre o consumo de energia *versus* a quantidade de dados trafegados na rede atingiram valores entre 2 e 60 watts/hora.

Os cenários compostos por servidores externos ao hospedeiro

obtiveram resultados do consumo de energia inferiores a 8 watts/hora, no Nó HP, e 19 watts/hora, no SuperServer, valores baixos se comparados com o consumo máximo destes hospedeiros.

Finalmente, o Modelo Virtual Power foi aplicado ao estudo de caso do provedor de serviços IaaS, Amazon com o serviço AWS EC2. A Amazon não publica os componentes de custo do TCO utilizado para o serviço AWS ECS. Todavia, o modelo de serviço *pay-as-you-use* não considera a variação do consumo de energia dos recursos nos custos. Os resultados preliminares do estudo de caso aplicado ao AWS EC2 revelam que a aplicação do Modelo Virtual Power permitiria uma análise mais detalhada dos custos tornando o modelo da Amazon, usado no AWS EC2, mais justo no que se refere aos aspectos de consumo de energia *vs.* utilização dos recursos.

## Considerações Finais

A solução proposta de “Virtual Power: Um modelo de custo baseado no consumo de energia do processador por máquina virtual em nuvens IaaS” apresentada nesta dissertação atingiu o seu objetivo. A avaliação dos modelos de custo utilizados pelos principais provedores (Amazon, Microsoft, Google, Rackspace e Dualtec) concluiu que estas soluções não consideram nos seus modelos de custos o quanto de uso de processador é utilizado pelo cliente, apenas a quantidade de processadores alocados por máquina virtual. Como o uso do processador implica diretamente no consumo de energia elétrica, um dos principais custos variáveis do TCO não é levado em consideração na precificação dos provedores supracitados. Por consequência, esses modelos de custo se assemelham mais a um *pay-as-you-go* do que a um *pay-as-you-use* por não considerarem o uso do processador e o seu impacto no consumo de energia elétrica de um *data center*. Tal fato é comprovado pela análise das tabelas de preço que apresentam apenas o custo de alocação dos recursos por hora, sem levar em consideração o quanto é utilizado de processador.

O Modelo Virtual Power considera o consumo de energia elétrica do processador para ambientes virtualizados em sistemas de computação na nuvem do tipo IaaS (*bare metal*), utilizando os componentes da máquina virtual que impactam diretamente no consumo de energia elétrica. O objetivo de ter um modelo de custo para repassar ao TCO os custos com consumo elétrico de máquina virtual, relacionados a utilização e com a divisão dos custos com energia elétrica individuais e coletivos, através de um critério de rateio foi atingido.

Para atingir este objetivo, a elaboração de um ambiente para

coleta de dados do consumo elétrico pela utilização do processador merece ênfase. Embora, o modelo proposto seja um modelo de custo para ser utilizado em nuvens IaaS com virtualização (*bare metal*), as validações sobre o comportamento do consumo elétrico mostraram-se desafiadoras e demandaram um esforço considerável. As fórmulas somente puderam ser verificadas após a validação de algumas hipóteses sobre o comportamento do consumo elétrico no ambiente virtualizado. Como por exemplo, pode-se mencionar o critério para a soma do consumo de energia elétrica gasto por  $n$  vCPUs com as respectivas taxas de utilização de processador.

As validações do Modelo Virtual Power puderam ser realizadas no LabP2D, laboratório que assemelha-se a um *data center* de pequeno porte comercial. Durante a especificação do modelo proposto também foi considerado um estudo de caso para encontrar o ponto de equilíbrio em que o modelo de custo da Amazon (serviço AWS EC2) deixaria de ser economicamente viável considerando o consumo de energia elétrica para o cliente em relação ao modelo de custo proposto. Este ponto de equilíbrio define quando um modelo de custo passa a ser mais vantajoso que outro para um cliente. Este estudo reforçou que sem o repasse do consumo elétrico coletivo de forma proporcional a utilização do processador das instâncias qualquer critério de rateio fica comprometido. Consequentemente, o cliente não sabe quanto consumiu de energia no uso de suas instâncias de máquina virtual. Para o cliente que espera pagar somente pelo que consome, este modelo de custo *pay-as-you-use* não é de fato *pay-as-you-use*.

É possível concluir que o custo de hospedagem para usuários que fazem cargas de trabalho distintas não reflete no custo real de hospedagem. Tarifar os custos para os clientes das instâncias por hora, omitindo a variação entre as diferentes cargas de trabalho, pode gerar um desperdício de tamanho da máquina fixa e, portanto, resultar em mais custos de infraestrutura para provedores de IaaS.

## 5.1 Contribuições

O presente trabalho proporcionou as seguintes contribuições:

- O Modelo Virtual Power: modelo de custo baseado no consumo de energia do processador por máquina virtual em nuvens IaaS;
- Uma ferramenta para medição do consumo de recursos em ambiente virtualizados baseados em Xen Server;

- Uma análise do consumo de energia *vs.* carga de processamento em equipamentos tipo *desktop* e servidor de *rack*;
- Uma análise do consumo de energia *vs.* tráfego de rede em equipamentos tipo *desktop* e servidor de *rack*;
- Um estudo comparativo dos modelos de custos empregados pelos principais provedores de serviços de computação em nuvem tipo IaaS;
- Um estudo de caso analisando o impacto do consumo de energia elétrica na precificação do serviço de computação em nuvem AWS EC2 da Amazon; e
- Um estudo de caso comparando o impacto do consumo de energia elétrica na precificação do serviço de computação em nuvem AWS EC2 da Amazon e a mesma situação usando o Modelo Virtual Power.

## 5.2 Trabalhos futuros

A solução proposta possui diversas oportunidades de trabalhos futuros, sendo elas:

- Os dados levantados no processo de calibração do Modelo Virtual Power podem ser empregados por um IDC para determinar quando é economicamente interessante agregar VMs em um mesmo hospedeiro ou segregar VMs em diversos hospedeiros através de dados do consumo de energia elétrica. Também pode indicar processos para automatizar o desligamento de hospedeiros sem VMs para economizar energia, visto que os dados levantados neste trabalho indicam que o consumo de um hospedeiro ligado sem VMs ativas é relevante.
- O modelo de virtualização baseado em *container* é promissor, e alguns provedores como a Amazon, IBM estão investindo nessa tecnologia. No ambiente virtualizado do tipo I (*bare metal*) utilizado neste trabalho o *hypervisor* entrega dados ao modelo de custo Virtual Power. Um *container* tem uma arquitetura diferente de disponibilizar a virtualização e neste momento o Modelo Virtual Power não é compatível, um modelo de custo para virtualização do tipo *Container* pode ser desenvolvido.

- Desenvolver um tarifador com base no modelo de custo Virtual Power, este tarifador usará como base os dados do consumo elétrico pela utilização dos servidores existentes no *data center*, estes dados são conseguidos através da calibração de consumo do ambiente virtualizado apresentado neste trabalho. Este tarifador pode ser construído para utilizar vários indicadores úteis ao *data center*, tantos quanto forem necessários, como o custo de uma máquina virtuais pela tarifa elétrica da fornecedora por horário e bandeiras tarifárias. Este tarifador é necessário para viabilizar economicamente a implantação do Modelo Virtual Power em um *data center* Figura 21.

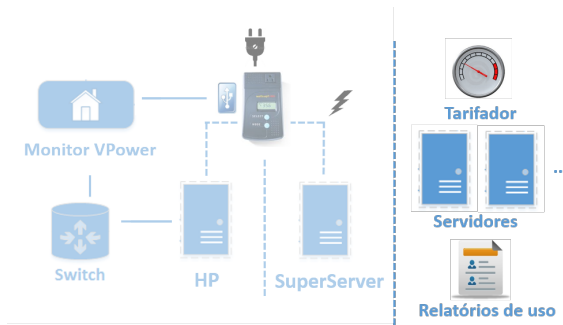


Figura 21 – Tarifador para a ambiente virtualizado (*bare metal*). Fonte: produção do próprio autor.

## Referências

- ABOLFAZLI, S.; SANAEI, Z.; SANAEI, M.; SHOJAFAR, M.; GANI, A. Mobile cloud computing: The-state-of-the-art, challenges, and future research. Willeys & Sons, 2015.
- AL-FARES, M.; LOUKISSAS, A.; VAHDAT, A. A scalable, commodity data center network architecture. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 38, n. 4, p. 63–74, 2008.
- ARMBRUST, M.; FOX, A.; GRIFFITH, R.; JOSEPH, A. D.; KATZ, R.; KONWINSKI, A.; LEE, G.; PATTERSON, D.; RABKIN, A.; STOICA, I. et al. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, ACM, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010.
- BARROSO, L. A.; HÖLZLE, U. The case for energy-proportional computing. *Computer*, IEEE, n. 12, p. 33–37, 2007.
- BEGUM, S.; KHAN, M. K. Potential of cloud computing architecture. In: IEEE. *Information and Communication Technologies (ICICT), 2011 International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1–5.
- BITTMAN, T. J. The road map from virtualization to cloud computing. *The Road Map From Virtualization to Cloud Computing/1572031*, 2011.
- BODIK, P.; GOLDSZMIDT, M.; FOX, A.; WOODARD, D. B.; ANDERSEN, H. Fingerprinting the datacenter: automated classification of performance crises. In: *Proceedings of the 5th European conference on Computer systems*. New York, NY, USA: ACM, 2010.



(EuroSys '10), p. 111–124. ISBN 978-1-60558-577-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1755913.1755926>>.

BOSSCHE, R. Van den; VANMECHELEN, K.; BROECKHOVE, J. Cost-optimal scheduling in hybrid iaas clouds for deadline constrained workloads. In: IEEE. *Cloud Computing (CLOUD)*, 2010 IEEE 3rd International Conference on. [S.l.], 2010. p. 228–235.

CARISSIMI, A. Virtualização: da teoria a soluções. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC*, v. 2008, p. 173–207, 2008.

CASTRO, R. C. d.; DOMINGOS, L.; LUZ, G.; PEREIRA, C.; GOMES, M. Gestao de vulnerabilidades em cloud computing: Um cenario da nuvem publica. In: *Anais Infobrasil 2012*. Ceara: [s.n.], 2012. p. 6. Disponível em: <<http://www.infobrasil.inf.br/userfiles/16-S1-2-97170-Gest~aodeVulnerabilidades.pdf>>.

CAVALCANTE, V. M. R. M.; ARAÚJO, B. D. L. de; MENEZES, J. W. M. Ti verde: Estudo de caso e propostas de práticas sustentáveis no ifce. *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, v. 8, n. 8, 2015.

CHEN, K.; SINGLA, A.; SINGH, A.; RAMACHANDRAN, K.; XU, L.; ZHANG, Y.; WEN, X.; CHEN, Y. Osa: an optical switching architecture for data center networks with unprecedented flexibility. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, IEEE Press, v. 22, n. 2, p. 498–511, 2014.

CHOWDHURY, N. M. K.; BOUTABA, R. A survey of network virtualization. *Computer Networks*, Elsevier, v. 54, n. 5, p. 862–876, 2010.

COROAMA, V.; HILTY, L. Energy consumed vs. energy saved by ICT - a closer look. *Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools*, 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, p. 353–361, 2009.

CSA. *Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing V3.0*. [S.l.], 2011. 177 p. Disponível em: <<https://downloads.cloudsecurityalliance.org/initiatives/guidance/csaguide.v3.0.pdf>>.

- ENISA. *Cloud Computing: Benefits, Risks and Recommendations for Information Security*. [S.l.]: ENISA Agency, European Network and Information Security, 2011.
- ENP. *Energy Logic: Reducing Data Center Energy Consumption by Creating Savings that Cascade Across Systems*. Emerson Network Power, 2008. Disponível em: <<https://dl.dropboxusercontent.com/u/65601356/energylogicreducingdatacenterenergyconsumption.pdf>>.
- ERDOGMUS, H.; FAVARO, J.; STRIGEL, W. Return on investment. *IEEE Software*, Citeseer, v. 21, n. 3, p. 18–22, 2004.
- ESWAR, R.; RAVI, G.; GIRI, M. Client virtualization with bare-metal and symmetric partition approach. *J Comput Eng Inf Technol* 4: 1. doi: <http://dx.doi.org/10.4172/2324>, v. 9307, p. 2, 2015.
- FOSTER, I.; KESSELMAN, C.; TUECKE, S. The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations. *International journal of high performance computing applications*, Sage Publications, v. 15, n. 3, p. 200–222, 2001.
- FOSTER, I.; ZHAO, Y.; RAICU, I.; LU, S. Cloud computing and grid computing 360-degree compared. In: IEEE. *Grid Computing Environments Workshop, 2008. GCE'08*. [S.l.], 2008. p. 1–10.
- GARG, S. K.; TOOSI, A. N.; GOPALAIYENGAR, S. K.; BUYYA, R. Sla-based virtual machine management for heterogeneous workloads in a cloud datacenter. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, v. 45, p. 108–120, 2014.
- GMACH, D.; ROLIA, J.; CHERKASOVA, L. Resource and virtualization costs up in the cloud: Models and design choices. In: *Proceedings of the 2011 IEEE/IFIP 41st International Conference on Dependable Systems&Networks*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011. (DSN '11), p. 395–402. ISBN 978-1-4244-9232-9. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/DSN.2011.5958252>>.
- GOIRI, Í.; KATSAK, W.; LE, K.; NGUYEN, T. D.; BIANCHINI, R. Parasol and greenswitch: Managing datacenters powered by renewable energy. In: ACM. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*. [S.l.], 2013. v. 41, n. 1, p. 51–64.
- GREENBERG, A.; HAMILTON, J.; MALTZ, D. A.; PATEL, P. The cost of a cloud: research problems in data center networks. *ACM*

- SIGCOMM computer communication review*, ACM, v. 39, n. 1, p. 68–73, 2008.
- HAERTEL, R.; SEPPI, K. D.; RINGGER, E. K.; CARROLL, J. L. Return on investment for active learning. In: *Proceedings of the NIPS Workshop on Cost-Sensitive Learning*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 72.
- HAN, Y. Cloud computing: Case studies and total cost of ownership. *Information technology and libraries*, v. 30, n. 4, p. 198–206, 2011.
- HUBER, N.; QUAST, M. von; HAUCK, M.; KOUNEV, S. Evaluating and modeling virtualization performance overhead for cloud environments. In: *CLOSER*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 563–573.
- IQBAL, M.; MOLLOY, C.; SMADI, M. *IT Virtualization Best Practices*. [S.l.]: MC Press, 2011.
- JR, A. M.; LAURENANO, M.; SANTIN, A.; MAZIERO, C. Aspectos de segurança e privacidade em ambientes de computacao em nuvem. In: *MiniCursos do SBSeg 2010*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2010. p. 53–102.
- KANT, K. Data center evolution: A tutorial on state of the art, issues, and challenges. *Computer Networks*, Elsevier, v. 53, n. 17, p. 2939–2965, 2009.
- KOEHLER, P.; ANANDASIVAM, A.; DAN, M.; WEINHARDT, C. Cloud services from a consumer perspective. In: *AMCIS*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 329.
- LE, K.; BIANCHINI, R.; MARTONOSI, M.; NGUYEN, T. D. Cost-and energy-aware load distribution across data centers. *Proceedings of HotPower*, p. 1–5, 2009.
- LEE, Y.; ZOMAYA, A. Energy efficient utilization of resources in cloud computing systems. *The Journal of Supercomputing*, Springer US, v. 60, n. 2, p. 268–280, 2012. ISSN 0920-8542. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11227-010-0421-3>>.
- LEONG DOUGLAS TOOMBS, B. G. L. Magic quadrant for cloud infrastructure as a service, worldwide. *Gartner RAS Core Research*, 2015.
- LI, S.; LIM, K.; FARABOSCHI, P.; CHANG, J.; RANGANATHAN, P.; JOUPPI, N. P. System-level integrated server architectures for

- scale-out datacenters. In: *Proceedings of the 44th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (MICRO-44 '11), p. 260–271. ISBN 978-1-4503-1053-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2155620.2155651>>.
- MACH, W.; SCHIKUTA, E. A consumer-provider cloud cost model considering variable cost. In: *Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC), 2011 IEEE Ninth International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 628–635.
- MARTENS, B.; WALTERBUSCH, M.; TEUTEBERG, F. Costing of cloud computing services: A total cost of ownership approach. In: *System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1563–1572. ISSN 1530-1605.
- MATÉ, A.; TRUJILLO, J.; MYLOPOULOS, J. Conceptualizing and specifying key performance indicators in business strategy models. In: *Proceedings of the 2012 Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research*. Riverton, NJ, USA: IBM Corp., 2012. (CASCON '12), p. 102–115. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2399776.2399786>>.
- MEISNER, D.; GOLD, B. T.; WENISCH, T. F. Powernap: eliminating server idle power. In: ACM. *ACM Sigplan Notices*. [S.l.], 2009. v. 44, n. 3, p. 205–216.
- MELL, P. M.; GRANCE, T. Sp 800-145. the nist definition of cloud computing. National Institute of Standards & Technology, 2011.
- MENDELSON, H. Pricing computer services: queueing effects. *Communications of the ACM*, ACM, v. 28, n. 3, p. 312–321, 1985.
- MISRA, S. C.; MONDAL, A. Identification of a company suitability for the adoption of cloud computing and modelling its corresponding return on investment. *Mathematical and Computer Modelling*, Elsevier, v. 53, n. 3, p. 504–521, 2011.
- RAICIU, C.; BARRE, S.; PLUNTKE, C.; GREENHALGH, A.; WISCHIK, D.; HANDLEY, M. Improving datacenter performance and robustness with multipath tcp. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 41, n. 4, p. 266–277, 2011.
- RAO, L.; LIU, X.; XIE, L.; LIU, W. Minimizing electricity cost: optimization of distributed internet data centers in a multi-electricity-market environment. In: IEEE. *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*. [S.l.], 2010. p. 1–9.

SASTRY, C. R.; COX, W.; CONSIDINE, T. *Price Normalization for Price-Responsive Devices-Algorithms and Issues*. [S.l.]: Grid-Interop, 2011.

SHIJA, J.; BILAS, K.; MADANI, S. A.; SAMEE, U. K. Data center energy efficient resource scheduling. *Springer Science+Business*, 2014.

SRIKANTIAH, S.; KANSAL, A.; ZHAO, F. Energy aware consolidation for cloud computing. In: USENIX ASSOCIATION. *Proceedings of the 2008 conference on Power aware computing and systems*. [S.l.], 2008. v. 10.

SRINIVASAN, M. K.; SARUKESI, K.; RODRIGUES, P.; MANOJ, M. S.; REVATHY, P. State-of-the-art cloud computing security taxonomies: a classification of security challenges in the present cloud computing environment. In: ACM. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*. [S.l.], 2012. p. 470–476.

TANG, S.; LEE, B.-S.; HE, B.; LIU, H. Long-term resource fairness: towards economic fairness on pay-as-you-use computing systems. In: ACM. *Proceedings of the 28th ACM international conference on Supercomputing*. [S.l.], 2014. p. 251–260.

THENG, D.; HANDE, K. N. Vm management for cross-cloud computing environment. In: *Proceedings of the 2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2012. (CSNT '12), p. 731–735. ISBN 978-0-7695-4692-6. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/CSNT.2012.160>>.

TORDSSON, J.; MONTERO, R. S.; MORENO-VOZMEDIANO, R.; LLORENTE, I. M. Cloud brokering mechanisms for optimized placement of virtual machines across multiple providers. *Future Gener. Comput. Syst.*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 28, n. 2, p. 358–367, fev. 2012. ISSN 0167-739X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2011.07.003>>.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. Fundamentos de economia. *São Paulo: Saraiva*, v. 2, 2004.

VAZQUEZ, C.; KRISHNAN, R.; JOHN, E. Cloud computing benchmarking: A survey. In: THE STEERING COMMITTEE

OF THE WORLD CONGRESS IN COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND APPLIED COMPUTING (WORLDCOMP). *Proceedings of the International Conference on Grid Computing and Applications (GCA)*. [S.l.], 2014. p. 1.

VELITCHKOV, I. Integration of it strategy and enterprise architecture models. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (CompSysTech '08), p. 69:V.7–69:1. ISBN 978-954-9641-52-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1500879.1500955>>.

WALTERS, J. P.; CHAUDHARY, V.; CHA, M.; JR, S. G.; GALLO, S. A comparison of virtualization technologies for hpc. In: IEEE. *Advanced Information Networking and Applications, 2008. AINA 2008. 22nd International Conference on*. [S.l.], 2008. p. 861–868.

WILKINS-DIEHR, N.; GANNON, D.; KLIMECK, G.; OSTER, S.; PAMIDIGHANTAM, S. Teragrid science gateways and their impact on science. *Computer*, IEEE, v. 41, n. 11, p. 32–41, 2008.

WINTER, M. Data center consolidation: A step towards infrastructure clouds. In: *Cloud Computing*. [S.l.]: Springer, 2009. p. 190–199.

WOOD, T.; TARASUK-LEVIN, G.; SHENOY, P.; DESNOYERS, P.; CECCHET, E.; CORNER, M. D. Memory buddies: exploiting page sharing for smart colocation in virtualized data centers. In: ACM. *Proceedings of the 2009 ACM SIGPLAN/SIGOPS international conference on Virtual execution environments*. [S.l.], 2009. p. 31–40.

XAVIER, M. G.; NEVES, M. V.; ROSSI, F. D.; FERRETO, T. C.; LANGE, T.; ROSE, C. A. D. Performance evaluation of container-based virtualization for high performance computing environments. In: IEEE. *Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP), 2013 21st Euromicro International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 233–240.

XIONG, P.; CHI, Y.; ZHU, S.; MOON, H. J.; PU, C.; HACIGUMUS, H. Intelligent management of virtualized resources for database systems in cloud environment. In: *Data Engineering (ICDE), 2011 IEEE 27th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 87–98. ISSN 1063-6382.

XU, Y.; BRUNS, F.; GONZALEZ, E.; TRABOULSI, S.; MOTT, K.; BILGIC, A. Performance evaluation of para-virtualization on modern mobile phone platform. In: *Proceedings of the International Conference on Computer, Electrical, and Systems Science, and Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010.

YOUNGE, A. J.; FOX, G. C. Advanced virtualization techniques for high performance cloud cyberinfrastructure. In: IEEE. *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2014 14th IEEE/ACM International Symposium on*. [S.l.], 2014. p. 583–586.

ZHANG, Q.; CHENG, L.; BOUTABA, R. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, Springer-Verlag, v. 1, n. 1, p. 7–18, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13174-010-0007-6>>.