

**UNIVERSIDADE PAULISTA**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICO-AMBIENTAL DE**  
***DATA CENTERS*: COMPUTAÇÃO TRADICIONAL**  
**VERSUS COMPUTAÇÃO EM NUVENS**

**ANDRÉ LUIGI AMARAL DI SALVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção da Universidade Paulista –  
UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
de Produção.

**São Paulo**  
**2015**

**UNIVERSIDADE PAULISTA**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICO-AMBIENTAL DE  
DATA CENTERS: COMPUTAÇÃO TRADICIONAL  
VERSUS COMPUTAÇÃO EM NUVENS**

**ANDRÉ LUIGI AMARAL DI SALVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho**

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial

Projeto de Pesquisa: Avaliação energético-ambiental de sistemas de produção utilizando a abordagem sistêmica

**São Paulo**  
**2015**

Di Salvo, André Luigi Amaral.

Avaliação energético-ambiental de data centers : computação tradicional versus computação nas nuvens / André Luigi Amaral Di Salvo. - 2015.

91 f. : il. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2015.

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

1. Computação nas nuvens. 2. Ecoeficiência. 3. Emergia. 4. TI verde. 5. UEV. I. Agostinho, Feni Dalano Roosevelt (orientador). II. Título.

**ANDRÉ LUIGI AMARAL DI SALVO**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICO-AMBIENTAL DE  
DATA CENTERS: COMPUTAÇÃO TRADICIONAL  
VERSUS COMPUTAÇÃO EM NUVENS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção da Universidade Paulista –  
UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
de Produção.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Prof. Dr. Fábio Sevegnani – UNIP

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Profa. Dra. Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho – USP

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Profº Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho – UNIP (Orientador)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois foi Ele quem permitiu que eu chegasse até aqui, dando-me saúde, sabedoria e proteção.

Aos meus pais, que nunca mediram esforços para que eu tivesse ensino de qualidade e sempre estiveram ao meu lado em todas as decisões que tomei, me orientando e criticando. Obrigado.

À minha irmã, mesmo estando longe, sempre foi um exemplo de dedicação aos estudos.

À minha esposa, que soube entender os meus momentos de estresse e deu-me forças para seguir nessa caminhada.

Ao meu filho, que com um simples sorriso e um forte abraço, carregava minhas energias para superar todos os obstáculos que apareciam.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho, que foi um verdadeiro mestre na arte de ensinar, sabendo me conduzir com maestria pelos caminhos obscuros da Ciência. Um muito obrigado, pois parte dessa conquista se deve a sua competência.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, que por meio de disciplinas, seminários, minicursos, palestras e workshops forneceram os subsídios para que esse trabalho fosse concluído com êxito.

Ao grande amigo Carlos Cezar da Silva, que foi o precursor desse trabalho, abrindo as portas da Universidade Paulista (UNIP) e nos momentos de descontração, ensinando como superar cada etapa da pesquisa.

Aos fiéis companheiros de viagem: José Hugo, Max, Daniel, Luciana, Fátima e Geslaine. Obrigado pelos momentos descontraídos (às vezes perigosos) e pelas acaloradas discussões em nossas viagens.

Um agradecimento especial ao amigo José Hugo de Oliveira, por ter me ajudado em diversos momentos com a tradução de textos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, por permitir conciliar os estudos com o trabalho.

Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP), por permitir estudar nessa renomada instituição de ensino.

A todos os funcionários da UNIP, que nos momentos necessários, se fizeram presentes.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esse título.

*“Todos os dias, sob todos os pontos de vista, eu vou cada vez melhor”.*

*Émile Coué*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
1 Introdução .....	12
1.1 Motivação.....	12
1.2 Objetivos .....	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Organização do trabalho.....	14
2 Fundamentação teórica.....	16
2.1 Data center e computação em nuvens.....	16
2.1.1 Características essenciais.....	17
2.1.2 Modelos de serviço.....	18
2.1.3 Modelos de implantação.....	19
2.1.4 Arquitetura da computação em nuvens.....	19
2.2 Tecnologia da Informação verde ( <i>Green IT</i> ) .....	20
3 Metodologia .....	22
3.1 Contabilidade ambiental em emergia .....	22
3.1.1 Etapas para o processo de avaliação ambiental com base na síntese em emergia .....	24
3.1.1.1 Primeira etapa: construção do diagrama de energia .....	24
3.1.1.2 Segunda etapa: construção da tabela de emergia .....	25
3.1.1.3 Terceira etapa: cálculo dos índices em emergia.....	27
3.2 Objeto de estudo: Universidade de São Paulo – USP.....	29
3.3 Fonte de dados.....	30
4 Publicações.....	32
4.1 Primeiro artigo .....	32
4.1.1 Considerações sobre o primeiro artigo .....	32
4.2 Segundo artigo .....	33
4.2.1 Considerações sobre o segundo artigo.....	34
5 Resultados adicionais .....	35
5.1 Diagrama de energia.....	35
5.2 Tabelas de avaliação em emergia .....	36
5.3 Síntese em emergia do Legado .....	37

5.4	Síntese em energia da <i>CloudUSP</i> .....	39
5.5	Indicadores de ecoeficiência e eficiência energética.....	41
5.6	<i>Green IT</i> e sustentabilidade de TI.....	43
6	Conclusões .....	46
6.1	Avaliação dos resultados .....	46
6.2	Contribuições do trabalho.....	47
7	Propostas para pesquisas e trabalhos futuros .....	48
8	Referências bibliográficas .....	49
	Anexo I. Principais símbolos utilizados no diagrama de energia.....	52
	Apêndice A – 1º artigo .....	53
	Apêndice B – 2º artigo .....	71
	Apêndice C. Memorial de cálculo do Legado (Tabela 8 – página 39).....	86
	Apêndice D. Memorial de cálculo da <i>CloudUSP</i> (Tabela 9 – página 41).....	89



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelos de serviços da computação em nuvens _____	18
Figura 2. Modelo de camadas _____	20
Figura 3. Diagrama genérico de três braços _____	23
Figura 4. Hierarquia de energia _____	24
Figura 5. Diagrama genérico de energia _____	25
Figura 6. Diagrama de energia dos sistemas estudados _____	35
Figura 7. Comparação gráfica da <i>CloudUSP</i> e Legado, considerando demanda de energia, ecoeficiência e eficiência energética calculados sem contabilizar a categoria serviços _____	42
Figura 8. Comparação gráfica da <i>CloudUSP</i> e Legado, considerando demanda de energia, ecoeficiência e eficiência energética calculados contabilizando a categoria serviços _____	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelo de tabela de avaliação em emergência _____	26
Tabela 2. Descrição das colunas da tabela de avaliação em emergência _____	26
Tabela 3. Índices em emergência _____	27
Tabela 4. Unidades funcionais e índices utilizados nesse trabalho _____	29
Tabela 5. Dados obtidos in loco dos sistemas estudados _____	30
Tabela 6. Dados de equipamentos existentes na <i>CloudUSP</i> _____	31
Tabela 7. Valores e referências das UEVs utilizadas nesse trabalho _____	31
Tabela 8. Síntese em emergência do Legado _____	39
Tabela 9. Síntese em emergência da <i>CloudUSP</i> _____	41
Tabela 10. Emergência, consumo de eletricidade, capacidade de armazenamento e disponibilidade de máquinas virtuais do Legado e da <i>CloudUSP</i> _____	42

## RESUMO

A redução da disponibilidade de recursos fósseis e as consequências negativas, como as mudanças climáticas, ao meio ambiente devido ao seu uso, fez com que o termo sustentabilidade ganhasse atenção das indústrias, da comunidade científica e da sociedade em geral. Nas empresas de tecnologia de informação e comunicação, a sustentabilidade tem se concentrado nos *data centers*, que são os locais que agrupam toda a infraestrutura de comunicação, energia, refrigeração e os equipamentos físicos como servidores e dispositivos de armazenamento. Dentre os conceitos que podem ser aplicados a um *data center*, como a virtualização e a disposição dos equipamentos em corredores quentes e frios, entre outros, a computação em nuvens é apontada como uma alternativa para a economia de recursos materiais e de energia por meio do compartilhamento da infraestrutura entre os usuários. Essa tecnologia tem sido rotulada como verde, pois diversos estudos apontam sua eficiência energética, mas ignoram outros aspectos importantes relacionados a um conceito mais amplo de verde. O objetivo desse trabalho é realizar uma avaliação crítica do rótulo verde como atualmente utilizado para classificar computação em nuvens, focando em *data center*. Para isso, a contabilidade ambiental em energia é utilizada como suporte metodológico, pois possui uma escala de avaliação superior a uma simples razão de eficiência energética. Essa metodologia contabiliza todos os esforços oriundos do meio ambiente necessários para obtenção de um produto ou serviço. Uma universidade brasileira foi considerada como estudo de caso. Duas infraestruturas de *data centers* foram comparadas: (i) a primeira composta por diversos *data centers* descentralizados e (ii) que utiliza os mais modernos conceitos de virtualização e computação em nuvens. Os resultados indicam a computação em nuvens como a tecnologia mais verde comparada aos tradicionais *data centers*, pois ao analisar a ecoeficiência, a computação em nuvens disponibiliza aos seus usuários máquinas virtuais (VM) e *bytes* a um custo ambiental menor ( $4,99\text{E}+15$  seJ/VM vs.  $9,07\text{E}+15$  seJ/VM;  $0,34\text{E}+04$  seJ/bytes vs.  $2,36\text{E}+04$  seJ/bytes). Em relação à eficiência energética, a nuvem consome aproximadamente 37% menos energia elétrica.

**Palavras-chave:** Computação em nuvens, ecoeficiência, energia, TI verde, UEV.

## ABSTRACT

The reduction in availability of fossil fuels, along with its negative consequences on the environment, such as climatic changes, due to its usage, has caused the term sustainability to attract the attention of industry, scientific community, and society in general. As far as information and communication technology firms are concerned, sustainability has been concentrated in data centers, which is where the whole infrastructure comprising communication, energy, cooling, and physical equipment, such as servers and data storage equipment is gathered. Among the concepts that could be applied to a data center, such as virtualization and disposition of the equipment in cold and warm corridors, among others, cloud computing stands out as an alternative concerning savings on material resources and energy by means of infrastructure sharing among users. Such technology has often been labeled as a *green* one as numerous studies highlight its energetic efficiency, albeit ignoring other relevant features of a *green* technology in a broader sense. The aim of this work is to critically assess the *green* labeling as it is currently used when classifying cloud computing, focusing on data centers. For that purpose, the emergy environmental accounting is used as a methodological support, as it features an evaluation scale superior to a simple energetic efficiency rate. Such methodology allows for the accounting of all the necessary efforts by the environment to obtain a product or service. A university in Brazil was selected as a case study. Two data center infrastructures were compared: (i) one comprising several decentralized data centers and (ii) one which uses the latest trends in virtualization and cloud computing concepts. Results indicate cloud computing as the *greenest* technology, as compared to traditional data centers, as when analyzing eco-efficiency, cloud computing provides the user with virtual machines (VM) and bytes at a lower environmental cost (4.99E+15 seJ/VM vs. 9.07E+15 seJ/VM; 0.34E+04 seJ/bytes vs. 2.36E+04 seJ/bytes). As for energetic efficiency, the cloud consumes about 37% less electricity.

**Key words:** Cloud computing, eco-efficiency, emergy, green IT, UEV

## 1 Introdução

### 1.1 Motivação

Desde os primeiros ensaios das redes de computadores feitos por Leonard Kleinrock<sup>1</sup> em 1969 até os dias atuais, o número de usuários conectados à rede tem aumentado de forma contínua. Inicialmente restrita a pequenos laboratórios de pesquisa e universidades, as redes conectavam um número pequeno de usuários, porém, atualmente a Internet, que é uma rede mundial de computadores, conecta bilhões de usuários que produzem uma quantidade inimaginável de informação. De acordo com o *Internet World Stats* (2012), o número de usuários conectados à rede subiu de 16 milhões em 1995 para cerca de 2,5 bilhões em 2012. Para suportar esse crescimento, diversos conceitos surgiram, sendo o mais recente, a computação em nuvens, do inglês *cloud computing*. Segundo Madhubala (2012), computação em nuvens é a convergência de várias técnicas como virtualização, projeto de aplicativos distribuídos, grade de computadores e gerenciamento de Tecnologia da Informação (TI) que tornam os sistemas mais escaláveis e flexíveis.

Nos últimos anos, diversas empresas foram atraídas para essa tecnologia pela oportunidade de redução ou eliminação dos custos associados à manutenção de uma infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) interna (Buyya et al. 2009). Oliveira et al. (2013) encontraram indicadores de que a computação em nuvens oferece vantagens econômicas e ambientais em relação à computação tradicional. Entre as vantagens econômicas, podem ser apontadas a redução do investimento em equipamentos que tornam-se obsoletos, além da redução dos gastos com energia elétrica. Segundo Murugesan (2008), o conceito de *Green IT* não engloba somente o uso e descarte eficiente de equipamentos de TI, mas também inclui o projeto e a fabricação dos mesmos.

A maioria dos trabalhos científicos que abordam TI e meio ambiente estão focados na redução do consumo direto de energia e, conseqüentemente, na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Atrey et al. (2013) fizeram um estudo de computação verde em nuvens e apresentaram uma série de métricas que podem ser utilizadas para avaliar a eficiência energética. Goyal e Kinger (2013) resumiram diversas técnicas para economizar energia em computação em nuvens. Bolla et al. (2014) investigaram a lacuna existente entre os sistemas de gerenciamento de energia de dispositivos de rede com base no fluxo de dados e propuseram um mecanismo para minimizar

---

<sup>1</sup>Matemático que criou a teoria dos pacotes e participou do desenvolvimento da ARPANET, precursora da Internet (INTERNET HALL OF FAME, 2014).

o consumo de energia (*Burst2save*). Ainda Bolla et al. (2012) avaliaram a quantidade de energia que pode ser economizada aplicando técnicas eficientes de gerenciamento de energia em provedores de Internet e empresas de telecomunicações.

A maioria dos estudos em que o termo computação verde é abordado, consideram apenas a redução no consumo direto de energia elétrica e emissões de CO<sub>2</sub> como fatores que determinam se o sistema é verde ou não. Nesse ponto, surge a seguinte questão: avaliar sistemas de TI com base apenas em indicadores de emissão de CO<sub>2</sub> e demanda de energia são suficientes para rotular um sistema como *Green IT*?

Atualmente, o debate sobre os limites do planeta em fornecer energia e matéria a serem utilizados em processos antrópicos torna-se cada vez mais presente. Neste sentido, o uso de metodologias científicas complementares à avaliação do ciclo de vida torna-se necessária. Rotular computação em nuvens como *green* devido à redução no consumo direto de energia e emissão de CO<sub>2</sub> como usualmente é feito, mesmo que importante, pode ser considerada uma visão reducionista da carga ambiental total destes sistemas quando considerando escalas maiores de avaliação. Assim, dentre as abordagens científicas que consideram essas escalas de avaliação, a contabilidade ambiental em emergia surge como uma alternativa. Essa metodologia, desenvolvida por Odum (1996), contabiliza todos os custos ambientais necessários para obtenção de um produto ou serviço. Diferente de outras abordagens biofísicas existentes, a emergia considera a qualidade da energia pela visão do lado doador, ou seja, contabiliza toda a energia demandada pela biosfera para produzir um bem ou serviço e não somente o recurso fóssil direto e indireto como usualmente considerado.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar a eficiência energético-ambiental da computação em nuvens frente à computação tradicional e verificar se essa tecnologia pode ser rotulada como computação verde.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Estimar o Valor Unitário de Emergia (UEV) representativo de computadores;
- b) Estudar e estabelecer unidades funcionais (UFs) que possibilitem a comparação entre um DC tradicional e outro que utiliza conceitos e tecnologias de computação em nuvens;

- c) Aplicar a contabilidade ambiental em energia nas estruturas computacionais distribuída (Legado) e centralizada (*cloud*) da universidade estudada para obter o custo total em *emjoules solares* (seJ) desses sistemas;
- d) Comparar as duas infraestruturas de DCs utilizando índices de ecoeficiência (seJ/UF) e eficiência energética (kWh/UF);
- e) Realizar uma avaliação crítica sobre o uso do rótulo computação verde para computação em nuvens.

### 1.3 Organização do trabalho

Esta dissertação apresenta-se no modelo de artigos, cuja forma incentiva a produção científica durante a evolução e término da pesquisa. O Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista (UNIP) permite e incentiva esse modelo de dissertação, objetivando a publicação dos resultados das pesquisas realizadas.

Desta forma, a dissertação apresenta a seguinte estrutura:

- Este capítulo trata da introdução sobre o assunto para posicionar o leitor em relação ao problema de pesquisa e as motivações do estudo. Contextualiza, também, o objetivo geral e os secundários da dissertação;
- O segundo capítulo, Referencial teórico, aborda conceitos de computação em nuvens e tecnologia da informação verde;
- O terceiro capítulo, Metodologia, aborda a fundamentação teórica sobre a metodologia aplicada neste trabalho (contabilidade ambiental em energia), a descrição detalhada sobre os sistemas estudados e os dados coletados durante a pesquisa;
- O quarto capítulo, Publicações, apresenta um resumo dos artigos que foram elaborados e apresentados em congressos, além das dificuldades encontradas.
- O quinto capítulo, Resultados adicionais, apresenta os resultados finais e as discussões contemplando as justificativas e objetivos da dissertação. As estruturas computacionais (Legado e *CloudUSP*) são avaliadas e comparadas, focando nos índices de ecoeficiência e eficiência energética, calculados a partir da contabilidade ambiental em energia e do consumo direto de energia elétrica, respectivamente;
- O sexto capítulo, Conclusões, contempla as conclusões do estudo realizado, identificando de forma clara e objetiva os principais achados que são sustentados

pelas abordagens científicas utilizadas. Algumas considerações finais também são incluídas, que facilitam a compreensão dos resultados da pesquisa.

- O sétimo capítulo, Propostas para pesquisas e trabalhos futuros, apresenta algumas propostas para o futuro desenvolvimento deste e outros trabalhos correlatos.
- O último capítulo, Referências bibliográficas, apresenta as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Além dos capítulos elencados acima, complementam este trabalho os seguintes adendos:

- Anexo I: apresenta os principais símbolos utilizados para a construção do diagrama de energia;
- Apêndice A: primeiro estudo elaborado no decorrer da pesquisa, utilizando a contabilidade ambiental em energia para comparar a atual estrutura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) com a nuvem da Universidade de Campinas (Unicamp).
- Apêndice B: segundo estudo elaborado no decorrer da pesquisa, abordando um dos obstáculos encontrados no desenvolvimento do primeiro estudo, que é a falta da UEV representativo dos computadores. Neste estudo, esse valor é estimado massa e em poder de processamento.
- Apêndice C: apresenta o memorial de cálculo da avaliação em energia do Legado.
- Apêndice D: apresenta o memorial de cálculo da avaliação em energia da CloudUSP.



## 2 Fundamentação teórica

### 2.1 Data center e computação em nuvens

*Data center* (DC) é um ambiente projetado para abrigar servidores e outros componentes como sistemas de armazenamento de dados e ativos de rede. O principal objetivo de um DC é garantir a disponibilidade dos equipamentos que mantêm os sistemas cruciais para o pleno funcionamento de uma organização. Independentemente do tamanho e forma do DC, os equipamentos que o integram podem ser configurados de diversas maneiras, entre elas: i) servidores independentes; ii) grade de computadores e iii) computação em nuvens.

Recentemente, com o avanço da computação em nuvens, os DCs têm sido projetados utilizando essa tecnologia. Segundo Mei et al. (2008), computação em nuvens surge como a quebra de um paradigma no qual os dados e recursos computacionais são compartilhados sobre uma rede escalável de nós (*hosts*) e não mais centralizados em um único servidor de rede. Seu conceito não é recente e segundo Hamdaqa e Tahvildari (2012), eles são os mesmos que John McCarthy<sup>2</sup> chamou na década de 1960 de computação como utilidade. O termo nuvem é uma metáfora para Internet, pois permite que todos os dados e aplicações sejam acessados por meio do cliente (aplicação) conectado à rede mundial de computadores.

Existem diversos conceitos para computação em nuvens disponíveis em literatura especializada, porém, nesse trabalho será utilizado o conceito elaborado pelo *National Institute of Standards and Technology*:

Computação em nuvem é um modelo que permite acesso de forma conveniente e sob demanda a uma rede compartilhada de recursos computacionais configuráveis (exemplo: servidores, aplicações, rede, armazenamento e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços (NIST, 2011, p. 2).

A computação em nuvens tem atraído cada vez mais a atenção de empresas e pesquisadores. Nas empresas, especialmente para as de pequeno e médio porte, os principais atrativos são a economia feita para comprar, executar e manter seu próprio *hardware* e infraestruturas de *software* (Miller, 2008). Na área científica, as nuvens começam a ser utilizadas na computação de alto desempenho (*high performance computing* - HPC). Sultan (2014) apresenta algumas aplicações de HPC que já operam nas nuvens, entre elas: i) *GenoLogics*, que faz o gerenciamento de dados em uma plataforma colaborativa para a

---

<sup>2</sup> John McCarthy foi um cientista da computação que ficou conhecido pelos seus estudos na área de inteligência artificial e por ser o criador da linguagem de programação *List Processing* (LISP).

descoberta e o desenvolvimento de novas drogas biomédicas; ii) *GenomeQuest*, que permite aos pesquisadores realizar alinhamento de sequências e a mineração de dados em genomas e iii) *Geospiza*, oferece uma solução chamada *GeneSifter* de sequenciamento de DNA (ácido desoxirribonucléico) de última geração na nuvem por meio dos Serviços *AmazonWeb*.

Mesmo com as vantagens da adoção da computação em nuvens (economia de energia, otimização de recursos computacionais e gerenciamento centralizado), algumas barreiras devem ser consideradas antes de sua adoção, conforme Avram (2014) cita: i) segurança e privacidade, pois se tratando de um modelo recente, há uma grande incerteza sobre a segurança nos vários níveis (servidores, aplicações, dados e outros); ii) conectividade, pois o potencial da computação na nuvem depende da disponibilidade de acesso de alta velocidade para todos os dispositivos conectados à rede; iii) interoperabilidade e portabilidade de dados entre nuvens públicas e privadas, para a troca de informações.

Segundo o NIST (2011), a computação em nuvens é composta de cinco características essenciais, três modelos de serviço e quatro modelos de implantação, como descrito nos subitens a seguir.

### 2.1.1 Características essenciais

Características essenciais são as vantagens da computação em nuvens frente à computação tradicional. Algumas dessas características definem a própria computação em nuvens, por exemplo, a escalabilidade, o amplo acesso à rede e os sistemas de medição. De acordo com o NIST (2011), as cinco características essenciais da computação em nuvens são:

**Entrega de serviço sob demanda:** o usuário pode aumentar o poder de computação alocado sem a interação humana do provedor de serviço;

**Amplo acesso à rede:** os recursos estão disponíveis na rede e podem ser acessados por meio de um mecanismo padrão que promove o acesso por meio de plataformas heterogêneas;

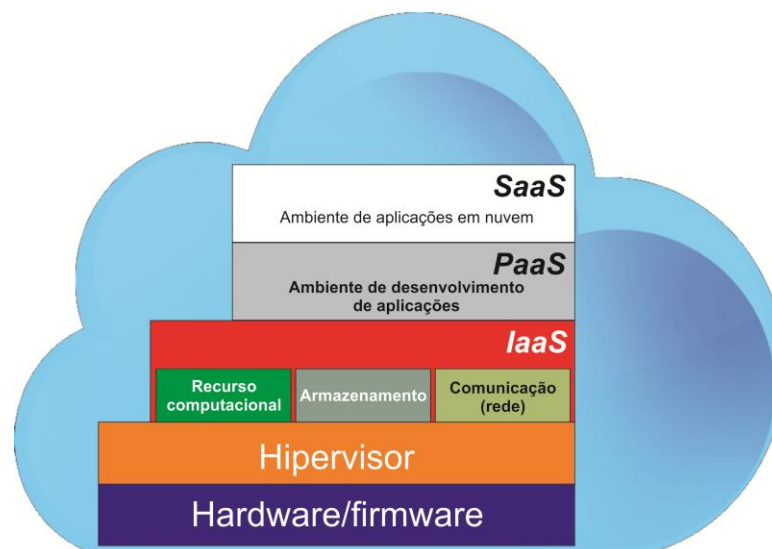
**Pool de recursos:** os recursos computacionais são organizados e agrupados permitindo que múltiplos usuários acessem recursos físicos e virtuais que são atribuídos e redistribuídos de forma dinâmica, de acordo com as necessidades do usuário;

**Elasticidade rápida:** os recursos podem ser alocados de forma rápida e elástica, e em alguns casos, de forma automática para suprir as demandas do usuário. Da mesma forma que os recursos são alocados, os mesmos podem ser liberados no momento que não há mais demanda por eles;

**Medição:** os sistemas de gerenciamento da computação em nuvens controlam e otimizam os recursos de maneira automática, disponibilizando mecanismos que permitem aferir a qualidade do serviço prestado de forma transparente ao provedor e usuário.

### 2.1.2 Modelos de serviço

Os modelos de serviço definem a arquitetura de serviços que será ofertada ao usuário final. Apesar de existirem outros modelos de serviço, aqui são considerados os modelos definidos pelo NIST (2011), como apresentado na Figura 1 e descritos na sequência.



**Figura 1.** Modelos de serviços da computação em nuvens  
Fonte: adaptado de Madhubala (2012).

**Software como serviço (SaaS):** a nuvem provê ao cliente final a capacidade de execução de aplicativos a partir de uma estrutura de nuvem. Os aplicativos instalados na nuvem podem ser acessados por diversos dispositivos conectados à Internet. Diferentemente do modelo IaaS (descrito a seguir), o cliente não possui controle sobre os sistemas instalados nem sobre a infraestrutura física da rede, como o armazenamento.

**Infraestrutura como serviço (IaaS):** a nuvem possui capacidade de prover ao cliente final uma estrutura computacional completa, composta por processamento, recursos de rede, armazenamento, além de outros recursos fundamentais de rede. O cliente pode instalar aplicativos, sistemas operacionais e outros sistemas de acordo com suas necessidades, mas não possui acesso à estrutura física, ficando esta sob responsabilidade do provedor do serviço.

**Plataforma como serviço (PaaS):** oferece ao cliente final uma infraestrutura de alto nível de integração para implementar e testar aplicações desenvolvidas para nuvem. Nesse modelo, o

cliente não possui acesso à infraestrutura, mas controla todas as aplicações instaladas e suas configurações.

### 2.1.3 Modelos de implantação

Os modelos de implantação definem o tipo de acesso (abertura ou restrição) dos usuários sobre a infraestrutura. Esses modelos estão diretamente relacionados ao tipo de negócio para o qual a nuvem está sendo implantada, além do grau de criticidade dos dados e sistemas que serão armazenados e/ou executados. Eles podem ser:

**Nuvem pública:** a infraestrutura de nuvem fica disponível para uma organização ou ao público geral, sendo de propriedade de um provedor de serviços. Os usuários pagam pelo uso da infraestrutura;

**Nuvem privada:** diferentemente da nuvem pública, a nuvem privada é de uso exclusivo de uma organização, podendo ser administrada internamente ou por terceiros. A nuvem privada pode ou não estar dentro do domínio físico da organização;

**Nuvem comunitária:** a infraestrutura da nuvem é compartilhada por organizações com objetivos comuns. Ela pode ser administrada internamente ou por terceiros e pode ou não estar dentro do domínio físico de uma organização;

**Nuvem híbrida:** a infraestrutura de nuvem é composta por duas ou mais infraestruturas de nuvem (pública, privada e/ou híbrida) que permanecem como uma única entidade agrupada por tecnologias padrões ou proprietárias, possibilitando a portabilidade de dados e aplicativos.

### 2.1.4 Arquitetura da computação em nuvens

Segundo Buyya et al. (2009), a computação em nuvens é baseada em camadas, sendo que cada uma delas possui uma função na apresentação de recursos para as camadas posteriores. Cada camada é uma divisão lógica que agrupa recursos de *hardware/software* e que realizam uma determinada tarefa no sistema como um todo. A Figura 2 apresenta o modelo de camadas e suas associações.



**Figura 2.** Modelo de camadas

Fonte: adaptado de Vecchiola et al. (2009).

Legenda: QoS = qualidade de serviço; SLA = acordo do nível de serviço.

Na camada mais baixa da Figura 2 (nível de sistema) estão localizados todos os recursos físicos da estrutura (computadores, *storages*, ativos de redes e outros). A camada intermediária (*core middleware*) é responsável pela gerência da camada física no qual, além de fornecer o núcleo lógico para a nuvem, fornece uma série de serviços como qualidade de serviço (QoS), acordo de nível de serviço (SLA), serviços de cobrança e outros. A camada nível de usuário *middleware* é responsável por apresentar um conjunto de ferramentas e aplicações aos usuários. Essas ferramentas, que usualmente são acessadas por usuários mais experientes, auxiliam no desenvolvimento e configuração dos sistemas. Por fim, a camada usuário final, destina-se exclusivamente aos usuários finais que irão utilizar os recursos da nuvem. Nesta camada encontram-se os aplicativos Gmail, Youtube, Flickr, entre outros.

## 2.2 Tecnologia da Informação verde (*Green IT*)

*Green IT* ou computação verde remete ao ano de 1992, quando a Agência Americana de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) criou o programa *Energy Star* (Joumaa e Kadry, 2012). O selo *Energy Star* foi dado aos produtos eletrônicos que consumissem menos energia elétrica na execução de um mesmo trabalho. Por exemplo, um dispositivo eletrônico que tinha a função *stand by* poderia receber o selo. De forma paralela, a organização sueca *TCO Development* iniciou um programa de certificação, o *TCO Certification* para

certificar monitores CR-T (*Cathodic Ray Tube*) que emitiam baixas quantidades de radiações elétricas e magnéticas.

Com o passar dos anos, o termo computação verde passou a englobar muito mais do que propunha o conceito inicial da EPA. Murugesan (2008) definiu computação verde ou TI verde como o estudo e a prática de projetar, fabricar, utilizar e descartar computadores, servidores e dispositivos associados (monitores, impressoras, dispositivos de armazenamento e dispositivos de redes) de forma eficiente e eficaz, com o mínimo ou nenhum impacto sobre o meio ambiente.

Mesmo com essa definição, por mais geral que seja, a TI verde tem sido quase que exclusivamente associada à redução no consumo de energia elétrica durante seu uso, e consequentemente, à redução nas emissões indiretas de CO<sub>2</sub>, que pode ser visto em trabalhos como de Joumaa e Kadry (2012), que apresentaram um estudo de caso sobre a redução do consumo de energia elétrica obtida pela adoção de tecnologias como o *thin-client* em substituição aos computadores *desktop*, além do uso de um *Proxy* inteligente para sistemas de *torrent*. Goyal e Kingler (2013) trouxeram um resumo de diferentes técnicas voltadas à economia de energia elétrica em ambientes de computação em nuvens. Atrey et al. (2013) mostraram diversas métricas que podem ser utilizadas para medir a eficiência de *data centers*, entre elas o *Power Usage Effectiveness* (PUE), *Carbon Usage Effectiveness* (CUE), *Energy Reuse Factor* (ERF), *Space* e *Wattage and Performance* (SWaP). Essas métricas, no entanto, estão associadas direta ou indiretamente ao consumo de energia elétrica ou emissão de CO<sub>2</sub>, desconsiderando outros potenciais custos ocultos nas diversas etapas do ciclo de vida de equipamentos e sistemas de TI. Berl et al. (2010) fizeram uma revisão de métodos e tecnologias utilizadas em ambientes de computação em nuvens para obter a eficiência energética nos computadores e na infraestrutura de rede. Duy et al. (2010) realizaram um estudo da economia de energia com base em um algoritmo de escalonamento verde para ambientes de computação em nuvens. Bolla et al. (2014) desenvolveram um mecanismo de controle de tráfego (*Burst2save*) que busca minimizar o desperdício de energia em dispositivos conectados à redes residenciais (computadores, tablets etc.) devido à reduzida largura de banda dessas conexões com a Internet. Capra et al. (2012) definiram uma metodologia para medir a eficiência energética de *softwares* e investigam a relação entre o uso de ambientes de desenvolvimento e eficiência energética.

### 3 Metodologia

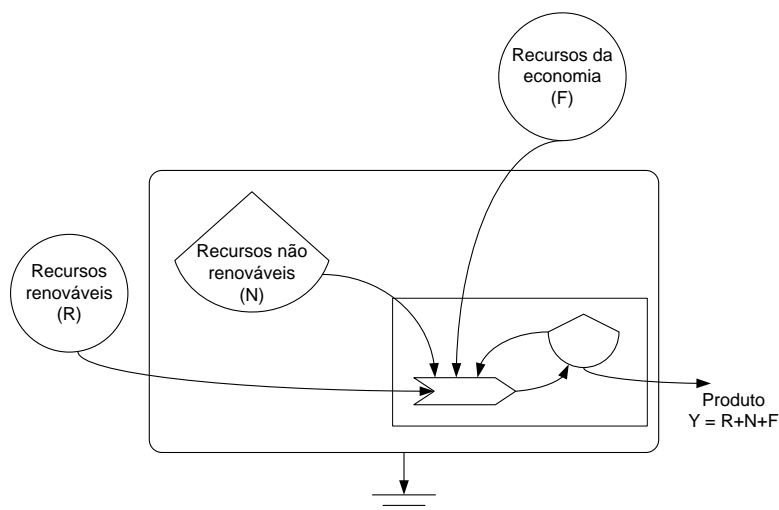
#### 3.1 Contabilidade ambiental em emergia

A contabilidade em emergia, grafada com “m”, é a metodologia proposta por Odum (1996) que utiliza as leis da termodinâmica, a teoria geral de sistemas e uma álgebra própria na busca de quantificar todos os fluxos de energia e matéria (da economia e da natureza) utilizados para fazer e tornar disponível um bem ou serviço. Para o autor, emergia é a energia disponível de um tipo previamente utilizada direta ou indiretamente na obtenção de um produto ou serviço. Em outras palavras, emergia pode ser considerada como a memória energética de sucessivos processos de transformação de um tipo de energia em outro tipo.

Esse conceito é o mesmo utilizado nas análises de energia incorporada, conforme Mantoam et al. (2014), que utiliza essa abordagem para determinar a energia incorporada de uma colheitadeira de cana de açúcar. A grande diferença entre a emergia e a análise de energia incorporada, segundo Slessor (1974), está na escala de avaliação (janela de atenção). Na energia incorporada, a história energética de um recurso é contabilizada até chegar aos combustíveis fósseis, enquanto a emergia vai mais além, estendendo-se até a obtenção do combustível fóssil a partir dos recursos naturais existentes na geobiosfera (Agostinho e Pereira, 2013).

Na síntese em emergia, os recursos são classificados em três categorias: i) renováveis do meio ambiente local (R de *renewables*), definido como aqueles utilizados a taxas menores do que sua reposição natural; ii) não renováveis do meio ambiente local (N de *non-renewables*), aqueles consumidos a uma taxa superior a sua taxa de renovação e iii) os provenientes da economia ou mercado econômico (F de *feedback*), que representam todo o suporte financeiro oriundo de uma economia de maior escala, seja ele empregado para o provimento de energia elétrica, por exemplo, ou para pagamento de mão de obra envolvida no processo.

Independente de sua classificação ou unidade, todos os recursos que atravessam as fronteiras do sistema são contabilizados em uma única unidade: emjoules solares (*solar emjoule*) ou sua abreviação seJ. Isso permite que diferentes fluxos de recursos possam ser contabilizados e comparados. A Figura 3 apresenta um diagrama de três braços que resume a nomenclatura utilizada na síntese em emergia.



**Figura 3.** Diagrama genérico de três braços  
Fonte: adaptado de Odum (1996).

Para que fluxos com unidades distintas (principalmente energia, massa e monetário) sejam convertidos em uma base única comum (seJ), fatores de conversão ou coeficientes de intensidade de energia devem ser aplicados (Ulgiati e Brown, 2014). Segundo os mesmos autores, estes coeficientes são genericamente denominados como Valores Unitários de Energia (*Unit Energy Value*, UEV) e definidos como:

**Transformidade solar:** a energia solar requerida para fazer 1 (um) Joule de um produto ou serviço. Sua unidade é o emjoule solar por Joule (seJ/J) (ODUM, 1996);

**Energia específica:** a quantidade de energia requerida para fazer uma unidade de massa de um produto ou serviço. Usualmente, a unidade da energia específica é seJ/g (Brown e Ulgiati, 2004) e

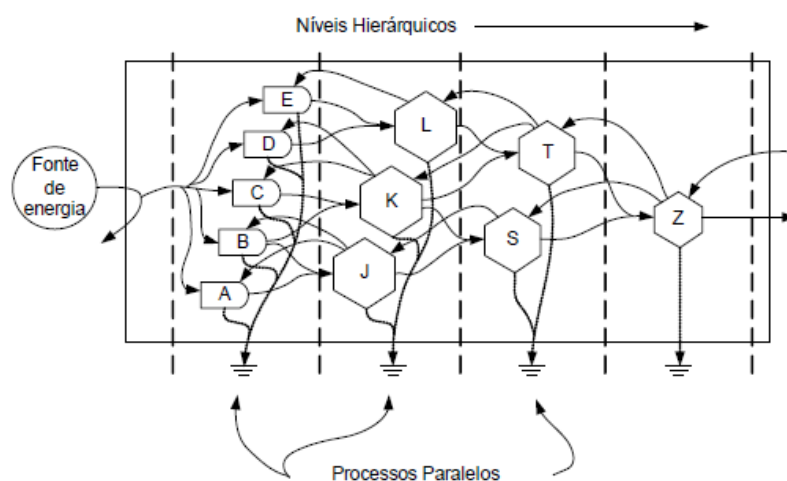
**Energia por unidade monetária:** a quantidade de energia requerida para gerar uma unidade econômica. A unidade da razão energia por dinheiro é seJ/\$ (geralmente expresso em dólar, USD (Brown e Ulgiati, 2004).

As UEVs ou as transformidades estão diretamente associadas ao conceito de qualidade de energia, apresentado por Odum (1973), como:

Energia é medida em calorias, BTUs, *quillowatt*, horas e em outras unidades, mas a energia tem uma escala de qualidade que não pode ser indicada por essas medidas. A capacidade de realizar trabalho para o homem depende da quantidade e da qualidade da energia, e essa é medida pela quantidade de energia de um menor grau necessária para desenvolver outra de maior grau. A escala de energia é diluída da luz solar até a matéria vegetal –o carvão – do carvão para o petróleo – eletricidade– e da eletricidade até os grandes esforços dos computadores para o processamento da informação humana (Odum, 1973).



A qualidade de energia está diretamente associada ao conceito de hierarquia de energia que é utilizado para explicar o trabalho da natureza e da sociedade, o que resulta nas transformações de energia. Quando analisado em sua totalidade, os sistemas naturais e sociais estão interconectados em redes de fluxos de energia. Nesse conceito, todos os fluxos de transformações de energia da geobiosfera podem ser organizados de acordo com a hierarquia de energia, no qual muitos joules de energia solar são necessários para obter um joule de material orgânico, muitos joules de material orgânico são necessários para obter um joule de combustível fóssil, vários joules de combustível fóssil são necessários para obter um joule de eletricidade e assim por diante (Brown e Ulgiati, 2004). A Figura 4 apresenta um exemplo dessa rede hierárquica de energia.



**Figura 4.** Hierarquia de energia

Legenda: A,B,C,D e E simbolizam produtores; J,K,L,S,T e Z simbolizam consumidores.

Fonte: adaptado de Odum (1996).

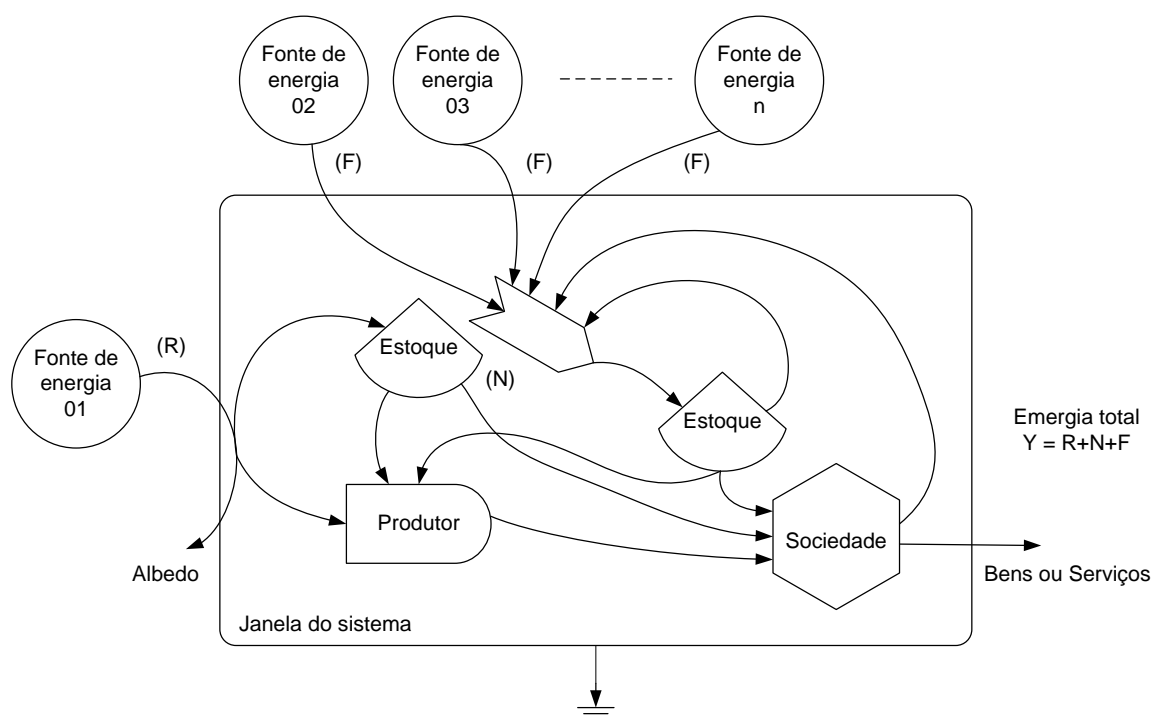
### 3.1.1 Etapas para o processo de avaliação ambiental com base na síntese em emergia

Nas próximas subseções são exemplificados os procedimentos metodológicos para aplicação da contabilidade ambiental em emergia.

#### 3.1.1.1 Primeira etapa: construção do diagrama de energia

Elaborar o diagrama de energia é uma etapa fundamental na avaliação em emergia. Odum (1996) desenvolveu uma linguagem de símbolos específicos (Anexo I) para essa finalidade. Inicia-se pelo desenho da janela do sistema que irá limitar seu objeto de estudo (definindo espaço e tempo). A janela do sistema é representada por um retângulo. A próxima etapa é a identificação de todas as fontes externas de energia e materiais que contribuem para o processo, cruzando as fronteiras do sistema. Essas fontes de energia são representadas por

círculos e ordenadas de acordo com o princípio da hierarquia de energia, da esquerda para a direita, com base no valor de sua UEV. Em seguida, os processos internos podem ser adicionados, considerando interações de fluxos, processos de retroalimentação e fluxos de produção (que saem do sistema em análise). Finalmente, todos os símbolos podem ser então conectados, indicando fluxos de energia em um processo dinâmico. A Figura 5 apresenta um diagrama genérico de energia. Observa-se que da esquerda para a direita estão simbolizadas as principais fontes de energia do sistema. Elas estão dispostas seguindo os princípios da hierarquia de energia. A janela do sistema é simbolizada pelo retângulo que separa as fontes externas dos processos internos ao sistema. Algumas fontes de energia interagem entre si formando estoques. Como saída do sistema tem-se a produção de bens e serviços. Na parte inferior do diagrama encontra-se o sumidouro de energia, que representa a perda de energia decorrente das transformações internas do sistema (2.<sup>a</sup> Lei da Termodinâmica).



**Figura 5.** Diagrama genérico de energia

### 3.1.1.2 Segunda etapa: construção da tabela de energia

A partir do diagrama de energia do sistema, a próxima etapa consiste na elaboração da tabela de avaliação em energia. Cada fluxo de energia que entra pela fronteira do sistema é representado por uma linha na tabela. Os fluxos de energia são agrupados de acordo com suas categorias, sendo que primeiro são apresentados os fluxos de fontes renováveis (R), em seguida as fontes não renováveis (N), e por último, as fontes provenientes da economia (F). A última

linha da tabela apresenta o valor total em energia do sistema (seJ). A Tabela 1 apresenta um modelo utilizado para a avaliação de energia, enquanto a Tabela 2 apresenta a descrição detalhada de cada uma das colunas.

**Tabela 1.** Modelo de tabela de avaliação em energia

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	UEV	Referência	Energia (seJ)
Renováveis (R)						
<i>Item i</i>						
<i>Item i<sup>th</sup></i>						
Não renováveis (N)						
<i>Item i</i>						
<i>Item i<sup>th</sup></i>						
Recursos da economia (F)						
<i>Item i</i>						
<i>Item i<sup>th</sup></i>						
				Energia total		
Energia total (Y)						

**Tabela 2.** Descrição das colunas da tabela de avaliação em energia

Coluna	Descrição
Item	Numeração ordenada dos fluxos de entrada. Importante para localizar no memorial de cálculo seus valores brutos, referências, e procedimentos de cálculo.
Descrição	Descrição do fluxo de entrada. O nome dos fluxos deve estar de acordo com o diagrama de energia.
Unidade	Apresenta a unidade padrão do fluxo. Usualmente utiliza-se energia (J) e massa (g). A unidade monetária (\$) também é utilizada, mas somente para representar mão de obra e/ou serviços.
Quantidade	Apresenta a quantidade de cada fluxo que entra no sistema.
UEV	Apresenta os valores unitários de energia de cada item da tabela.
Referência	Apresenta a referência da UEV.
Energia (seJ)	Apresenta o fluxo de energia de cada item. Esse fluxo é obtido pela multiplicação da coluna quantidade pela coluna UEV. A soma desta coluna resulta na energia total demandada pelo sistema.

Nessa etapa deve ser escolhida a *baseline* a ser utilizada, que é o suporte anual ambiental da geobiosfera em termos de energia solar (seJ). Considerando os valores existentes em

literatura específica e utilizados pela comunidade científica que trabalha com emergia, neste trabalho é considerado o valor  $15,83E+24$  seJ/ano como calculado por Odum et al. (2000).

### 3.1.1.3 Terceira etapa: cálculo dos índices em emergia

A terceira etapa do processo de avaliação em emergia consiste no cálculo dos índices. A Tabela 3 mostra os índices em emergia utilizados na avaliação de diferentes aspectos do sistema sob a óptica da emergia. Todos os índices utilizam a mesma nomenclatura do diagrama de energia (Figura 5) e da tabela de avaliação em emergia (Tabela 1).

**Tabela 3.** Índices em emergia

Indicador	Descrição	Equação
UEV (Odum, 1996)	Valor unitário em emergia ( <i>Unit Energy Value</i> ): é a razão entre a emergia total do sistema ( <i>input</i> – $R+N+F$ ) em relação à produção do sistema ( <i>output</i> - $Ep$ ).	$UEV = \frac{R+N+F}{Ep}$
EYR (Odum, 1996)	Razão de rendimento em emergia ( <i>Emergy Yield Ratio</i> ): é a razão entre a emergia total do sistema ( $R+N+F$ ) e os recursos oriundos da economia (F). Indica a capacidade do sistema em explorar os recursos locais e torná-los disponíveis à sociedade.	$EYR = \frac{(R+N+F)}{F}$
ELR (Odum, 1996)	Razão de carga ambiental ( <i>Environmental Loading Ratio</i> ): é a razão entre os recursos não renováveis (N) e da economia (F) em relação aos renováveis (R). Avalia a carga ambiental do sistema.	$ELR = \frac{(N+F)}{R}$
EIR (Odum, 1996)	Razão de investimento em emergia ( <i>Emergy Investment Ratio</i> ): é a razão entre os recursos oriundos da economia (F) em relação aos recursos renováveis e não renováveis ( $R+N$ ). Um valor menor que 1 indica que o meio ambiente provê mais recursos para o sistema do que a economia.	$EIR = \frac{F}{(R+N)}$
%R (Odum, 1996)	% Renovabilidade: é a razão entre os recursos renováveis (R) em relação à emergia total do sistema ( $R+N+F$ ). Quanto maior o valor mais sustentável é o sistema, pois demanda mais recursos renováveis.	$\%R = \frac{R}{(R+N+F)}$
ESI (Brown e Ulgiati, 1997)	Índice de sustentabilidade ambiental ( <i>Environmental Sustainability Index</i> ): é a razão entre o rendimento em emergia (EYR) pela carga ambiental (ELR). Valores abaixo de 1 indicam sistemas não sustentáveis em longo prazo, moderado entre 1 e 5 e sistemas sustentáveis quando o valor é superior a 5.	$ESI = \frac{EYR}{ELR}$

Percebe-se que os índices apresentados na Tabela 3 são calculados pelas relações algébricas entre os recursos R, N, e F. Os recursos naturais R e N são amplamente encontrados em sistemas naturais, agrícolas, ou em outros localizados mais à esquerda na cadeia hierárquica de energia. Por outro lado, para sistemas localizados mais à direita na escala de energia (como o sistema estudado nesta dissertação), os recursos naturais são desprezíveis ou inexistentes, o que impossibilita o cálculo dos índices em emergia tradicionais como apresentados na Tabela 3. Isso poderia ser contornado se a abordagem das renovabilidades parciais, como sugerido por Tiezzi e Marchettini (1999) fosse utilizada, na qual todos os fluxos da economia carregam

consigo uma porcentagem de renovabilidade. Porém, o objetivo deste trabalho não é avaliar a sustentabilidade dos DCs, mas sim discutir sobre sua eficiência em energia e energia, apontando qual sistema consegue converter os recursos utilizados em maior quantidade de serviços providos. Desta forma, buscou-se aqui índices que relacionam o custo em energia e energia com unidades funcionais que representam as vantagens (recursos computacionais) de um sistema frente ao outro.

Encontrar unidades funcionais que podem ser utilizadas para comparar infraestruturas de TI não é algo simples. Stiel e Teuteberg (2014) apontam que em outras áreas do conhecimento essas unidades são facilmente encontradas, como por exemplo *quillowatt*-hora (kWh) em processos de produção de energia elétrica, tempo (hora, minuto, segundo) para avaliar fluxos, massa (g, kg,) para estudar outros sistemas de produção. Entretanto, não há unidades funcionais específicas para TI (Ardito et al., 2014). As mais comuns são o *Floating Point Operations Per Second (FLOPS)* e o *Millions of Instructions Per Second (MIPS)* que avaliam o poder de processamento dos computadores. Aferir essas unidades requer o uso de aplicativos específicos, como o *Linpack*, tarefa que não é possível de ser feita nos sistemas em estudo devido à restrição de acesso. Além disso, a diferença de concepção entre os sistemas podem apresentar discrepâncias que impossibilitam a comparação, isto é, a quantidade de operações de ponto flutuante (FLOPS) da *cloud* pode ser maior do que a do Legado, uma vez que nesse tipo de sistema os nós compartilham processamento, memória, barramentos, entre outros. Entretanto, Pal (2008) afirma que sistemas de TI possuem funcionalidades semelhantes, como o armazenamento e o número de máquinas virtuais ofertadas. Essas unidades podem ser facilmente obtidas para os dois sistemas. Apesar dessas unidades funcionais não espelharem o poder real de processamento, elas indicam o real benefício aos usuários de uma estrutura em relação à outra.

A razão entre energia total utilizada pelo sistema e os serviços computacionais disponíveis aos usuários (armazenamento e máquinas virtuais) vai ao encontro à definição de ecoeficiência, criada pelo *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* no que tange a disponibilização de um recurso com menor carga ambiental. Segundo o WBCSD (2012), a ecoeficiência é alcançada entregando bens e serviços a preços competitivos, satisfazendo as necessidades humanas e reduzindo progressivamente o impacto ambiental. Desta forma, conforme detalhado na Tabela 4, índices de ecoeficiência e eficiência energética são utilizados nesse estudo para comparar os dois sistemas de TI: Legado e *CloudUSP*.

**Tabela 4.** Unidades funcionais e índices utilizados nesse trabalho

Índice	Descrição	Categoria
<b>Unidades funcionais</b>		
VM	Máquina virtual ( <i>Virtual Machine</i> ): é a quantidade de máquinas virtuais apresentadas aos usuários por cada estrutura estudada. A quantidade total varia de acordo com a configuração de cada VM e com os recursos de cada estrutura.	Unidade funcional
Bytes	Bytes: é a quantidade de espaço disponível para armazenamento de informações pelas estruturas.	Unidade funcional
<b>Índices de ecoeficiência e eficiência energética</b>		
seJ/VM	Energia/VM: é a razão entre a energia total do sistema (Y) pelo número de máquinas virtuais ofertadas (VM). Valores abaixo de um valor de referência indicam um sistema mais eficiente no uso de energia para prover máquinas virtuais.	Ecoeficiência
seJ/Byte	Energia/byte: é a razão entre a energia total do sistema (Y) pela quantidade de espaço disponível pelo sistema (bytes). Valores abaixo de um valor de referência indicam um sistema mais eficiente no uso de energia por unidade de armazenamento.	Ecoeficiência
kWh/VM	Quilowatt-hora/VM: é a razão entre o consumo de energia de cada estrutura (kWh) pelo número de máquinas virtuais ofertadas (VM). Indica a eficiência no consumo de energia para prover máquinas virtuais, no qual valores abaixo de um valor de referência indicam maior eficiência.	Eficiência energética
kWh/bytes	Quilowatt-hora/bytes: é a razão entre o consumo de energia de cada estrutura (kWh) pela capacidade de armazenamento (bytes). Indica a eficiência no consumo de energia por unidade de armazenamento, no qual valores abaixo de um valor de referência indicam maior eficiência.	Eficiência energética

### 3.2 Objeto de estudo: Universidade de São Paulo – USP

Criada em 1934, a Universidade de São Paulo (USP) é uma das três universidades estaduais mantidas pelo governo do estado de São Paulo. Em 2013, de acordo com os dados estatísticos publicados pela instituição, ela possuía cerca de 92 mil alunos matriculados em seus diversos cursos de graduação e pós-graduação. Seu parque computacional era composto por quase 86 mil equipamentos, alocados em diversos setores e que englobavam servidores de rede, computadores pessoais, estações de trabalho, equipamentos de rede, equipamentos de energia, dispositivos móveis entre outros.

Inicialmente, todo o parque de servidores de rede estava distribuído entre os diversos departamentos da universidade que mantinham sua própria infraestrutura de DC e equipe de manutenção. Em 2012, a universidade possuía 144 DCs, que juntos contabilizavam 1.425 servidores de redes, além de outros dispositivos necessários para o seu funcionamento, como *switches*, roteadores e *no-breaks*. Esta estrutura de TI foi denominada como Legado neste trabalho.

Com um orçamento estimado em R\$ 100 milhões, a USP iniciou no ano de 2012 um projeto de computação em nuvens denominado *CloudUSP*, que tem por finalidade agrupar todos os 144 DCs em uma única unidade gestora, reduzindo assim o número de equipamentos de TI, o consumo de energia e centralizando a gestão dos serviços. Essa nova unidade gestora recebeu o nome de Departamento de Tecnologia da Informação (DTI). Devido à redução no consumo de energia dessa nova estrutura, ela tem sido considerada “verde”.

### 3.3 Fonte de dados

Os dados brutos utilizados para avaliação da *CloudUSP* (tabelas 5 e 6) foram coletados *in loco* por meio de visitas à universidade e em reuniões com a sua equipe de gestão. Relatórios com os *Part Numbers* de cada equipamento foram considerados e compilados, em seguida, estes dados foram enviados à equipe de gestão da *CloudUSP* para validação. Dados sobre o consumo de energia elétrica (incluindo equipamentos computacionais e sistema de refrigeração) foram estimados a partir das especificações técnicas fornecida pelos fabricantes.

Para o Legado, devido ao acordo de sigilo entre os departamentos da universidade e o DTI, dados primários utilizados neste estudo (Tabela 5) foram obtidos a partir de dados macro oferecidos pelo DTI em relatórios não publicados. O consumo de energia elétrica dos sistemas de refrigeração foi estimado com base em um aparelho de ar condicionado capaz de atender a demanda de uma sala de 16,6 m<sup>2</sup>, espaço estimado necessário para armazenar os equipamentos (aproximadamente 10 computadores por DC). O consumo de energia dos equipamentos foi obtido de relatórios não publicados da universidade.

**Tabela 5.** Dados obtidos *in loco* dos sistemas estudados

Item	Legado	<i>CloudUSP</i>
Número de DC	144	2 (n+1)*
Número de servidores físicos	1.425	512
CPUs	6.062	1.024
Número de <i>cores</i>	12.124	9.984
Número de máquinas virtuais	5.700	7.200
Memória total (TB)	26	246
Armazenamento (TB)	2.188	10.435
Consumo total anual de energia (kWh/ano)	9.530.880	5.956.800

\* Recursividade, indicando que um DC é *backup* do outro

**Tabela 6.** Dados de equipamentos existentes na *CloudUSP*

<i>Part Number</i>	<i>Item</i>	<i>Quantidade</i>
FAS6200	<i>Storage empresarial netApp</i>	8
DS4243	<i>NetApp Disk Shelves and Storage Media</i>	242
N7K-C7010	<i>Chassi – Switch</i>	4
N7K-SUP1	<i>Cisco Nexus 7000 M1-Series 48-Port Gigabit Ethernet Modules</i>	8
N7K-C7010-FAB 2	<i>Cisco Nexus 7000 Switches Fabric-2 Modules</i>	4
N7K-F132XP-15	<i>Cisco Nexus 7000 F1-Series 32-Port</i>	8
N7K-M132XP-12L	<i>Cisco Nexus 7000 F1-Series 32-PortCisco Nexus 7000 M1-Series 32-Port 10 Gigabit</i>	16
N7K-M148GS-11L	<i>Cisco Nexus 7000 M1-Series 48-Port Gigabit Ethernet Modules - SFP module</i>	4
N7K-M148GT-11L	<i>Cisco Nexus 7000 M1-Series 48-Port Gigabit Ethernet Modules</i>	4
UCS-FI-6296UP	<i>Cisco UCS 6296UP 96-Port Fabric Interconnect</i>	6
UCS-FI-6140UP	<i>Cisco UCS 6140UP 40-Port Fabric Interconnect</i>	4
n.d.	<i>Cisco ASR 9006 Router</i>	2
n.d.	<i>Cisco Firewall ASA5585-SSP-40</i>	4
n.d.	<i>Blade Server 200/230</i>	512

n.d. = não disponível

Adicionalmente aos dados coletados na USP, a Tabela 7 apresenta as transformidades e UEVs utilizadas neste trabalho. As UEVs e transformidades dependem dos materiais e da energia utilizada nas diversas etapas necessárias para obtenção dos produtos ou serviços. Por este motivo variam de acordo com a matéria prima selecionada, com o tipo de energia empregada na produção e com a eficiência do sistema produtivo.

**Tabela 7.** Valores e referências das UEVs utilizadas nesse trabalho

<i>Item</i>	<i>Unidade</i>	<i>UEV (seJ/unidade)</i>	<i>Referências</i>
Eletricidade	J	5,87E+04	Brown e Ulgiati, 2002
Vidro	g	2,77E+07	Odum, 2000
Cal	g	1,68E+09	Odum, 1996
Pedra	g	1,68E+09	Odum, 1996
Areia	g	1,68E+09	Odum, 1996
Cobre	g	3,00E+09	Cohen et al., 2004
Placa de circuito	g	3,00E+09	Ulgiati e Brown, 2002
Cimento	g	3,04E+09	Pulselli, 2008
Aço	g	3,16E+09	Bargigli e Ulgiati, 2003
Tijolo	g	3,36E+09	Odum, 1996
Plástico	g	9,68E+09	Buranakarn, 1998
Computadores	g	8,90E+10	Apêndice B
Mão de obra	USD	3,40E+12	NEAD, 2008
Razão energia por \$ do Brasil em 2008 (seJ/PIB em dólar)	USD	3,40E+12	NEAD, 2008

Baseline: 15.83E+24 seJ/ano (Odum et al., 2000); todas UEVs não incluem *Labor&Services*



## 4 Publicações

Como esta dissertação foi elaborada em forma de artigos, este capítulo faz um resumo dos dois artigos elaborados durante a pesquisa, mostrando os resultados obtidos e indicando as principais dificuldades encontradas.

### 4.1 Primeiro artigo

O primeiro artigo que compõem esta dissertação consistiu na comparação entre duas infraestruturas de TI de instituições de ensino distintas. A primeira, o Centro de Processamento de Dados (CPD) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes (IFSULDEMINAS), é uma estrutura que não utiliza os conceitos e as tecnologias da computação em nuvens. A nomenclatura CPD foi utilizada pois essa estrutura não utiliza os conceitos básicos aplicados a um DC, como por exemplo, a disposição de máquinas em corredores frios e quentes, a utilização de cabeamento estruturado, a redundância no fornecimento de *comodities*, (energia e telecomunicação), entre outros. A segunda, localizada na Universidade de Campinas (UNICAMP), é um conjunto de equipamentos de TI, que estão localizados dentro de um DC, e que utilizam os conceitos e tecnologias da computação em nuvens.

Após coletar os dados em cada uma das instituições, a síntese em energia foi aplicada para estimar a demanda total de energia de cada sistema. Esses sistemas foram comparados com base no número estimado de usuários atendidos e no poder de processamento, mais especificamente: i) *benchmarks*; ii) operações de ponto flutuante; iii) operações de números inteiros. Além desta comparação, um estudo da eficiência energética de cada sistema foi realizado.

Os resultados deste primeiro artigo foram apresentados no *4th Advances in Cleaner Production*. O artigo na íntegra está disponível no Apêndice A.

#### 4.1.1 Considerações sobre o primeiro artigo

Os resultados finais deste primeiro estudo mostraram que a nuvem da UNICAMP demanda menos energia do que o CPD do IFSULDEMINAS, porém, no desenvolver do trabalho observou-se que os dois sistemas não ofertavam serviços equivalentes de TI, muito menos atendiam a públicos semelhantes. O CPD do IFSULDEMINAS foi estruturado para atender a todos os usuários do campus, enquanto a nuvem da UNICAMP era responsável por manter no ar o sistema acadêmico e outros aplicativos responsáveis pela gestão da universidade.

Além disso, as unidades funcionais utilizadas para comparar os dois sistemas (poder de processamento e número de usuários) foram estimados com base em sites que avaliaram sistemas iguais ou equivalentes aos estudados e no total de usuários estimados em cada instituição. Determinar os valores *in loco* não foi possível devido às restrições de acesso a cada sistema.

Outro ponto observado neste trabalho foi a ausência da UEV representativa dos computadores. Na literatura científica, trabalhos que utilizaram a mesma abordagem e que possuíam computadores em suas tabelas de avaliação, estimaram os valores das UEVs com base em outros equipamentos eletrônicos (Almeida et al., 2013; considerou duas vezes o valor da UEV de um projeto multimídia) ou como Yang et al., (2013) que não disponibilizou como a UEV foi calculada.

A ausência das UEVs, a dificuldade em determinar unidades funcionais que pudessem comparar os sistemas e a diferença de concepção entre eles tornaram-se pontos cruciais que deveriam ser superados para responder ao objetivo geral desta dissertação.

## 4.2 Segundo artigo

O segundo artigo que compõe esta dissertação estima o valor da UEV dos computadores. A falta desse valor foi identificada no primeiro artigo. Utilizando-se a síntese em energia e a simulação de Monte Carlo, estimou-se quatro valores distintos que podem ser utilizados: i)  $1,6E+12$  seJ/g (com serviço); ii)  $8,9E+10$  seJ/g (sem serviço); iii)  $3,1E+05$  seJ/FLOPS (com serviço), e; iv)  $1,7E+04$  seJ/FLOPS (sem serviço).

Os valores obtidos incluindo serviços englobam, de forma indireta, os gastos com Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) feitos pelas grandes empresas da área, pois considerou-se o valor de mercado (preço de venda) dos equipamentos. Mesmo reconhecendo que este valor pode não representar PD&I diretamente, pois engloba outros fatores como apelo da marca, marketing, transporte, entre outros, na maioria das avaliações que utilizam a síntese em energia, esta abordagem é a mais utilizada na ausência de informações precisas sobre um processo produtivo.

O artigo na íntegra está disponível no Apêndice B. Este trabalho foi apresentado na 8<sup>th</sup> *Biennial Energy Research Conference, University of Florida, Gainesville, US* e encontra-se em revisão para publicação no próximo volume do congresso.

#### **4.2.1 Considerações sobre o segundo artigo**

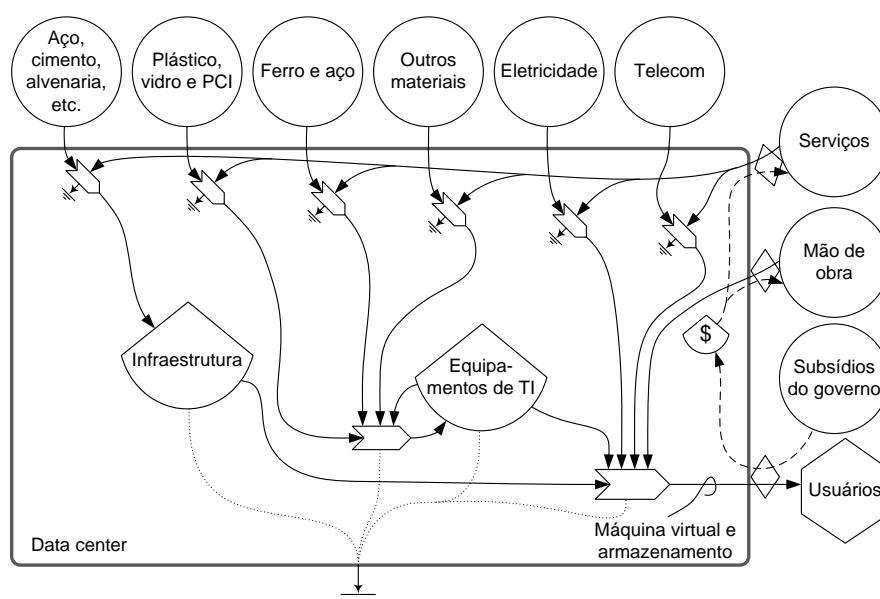
A busca por unidades funcionais para avaliar computadores mostrou que utilizar unidades de processamento (FLOPS) não é uma boa medida. Teste de bancada apresentaram valores distintos para equipamentos idênticos. Além disso, a dificuldade operacional para aferir essas medidas, seja com base no conhecimento técnico necessário ou a dificuldade para acesso aos equipamentos, faz com que a UEV seJ/g seja considerada a melhor forma de avaliar os computadores. Nada impede o uso da UEV seJ/FLOPS, porém, métricas bem definidas devem ser utilizados para aferir esses números.

## 5 Resultados adicionais

Após todos os obstáculos encontrados nas duas primeiras publicações terem sido superados, este capítulo apresenta resultados complementares que respondem aos demais objetivos propostos neste trabalho.

### 5.1 Diagrama de energia

A Figura 6 mostra o diagrama de energia dos sistemas estudados (Legado e *CloudUSP*), resultado da primeira etapa do processo de avaliação em energia. Nela é possível visualizar todas as fontes de energia (recursos) que contribuem para a implantação e operação dos sistemas. Como ambos são concebidos para o mesmo fim (processamento e armazenamento de informação), os tipos de fluxos de energia que atravessam a fronteira do sistema são os mesmos, porém, em quantidades distintas.



**Figura 6.** Diagrama de energia dos sistemas estudados  
PCI = Placa de Circuito Impressa; TI = Tecnologia da Informação

Internamente, o diagrama é subdividido em duas partes: uma mostrando as relações e dependências para a formação de um estoque de infraestrutura e outra para a formação do estoque equipamentos de TI. Os fluxos de energia direcionados para o estoque de infraestrutura mostram os materiais que compõem a estrutura física dos DCs. Esses foram estimados com base no trabalho de Carvalho (2010). Outros fluxos são direcionados para o estoque de equipamentos de TI e representam os principais componentes encontrados em computadores, equipamentos de telecomunicação e eletrônicos. Esses foram estimados com base no relatório

da *Environmental Protection Agency* (EPA) publicado em 2001 (EPA, 2001). Todos os cálculos estão disponíveis nos Apêndices C e D.

Como o objeto de estudo deste trabalho é uma universidade pública, o aporte financeiro para mão de obra (direta e indireta) utilizada na implantação e manutenção dos sistemas é subsidiado pelos governos federal e estadual, juntamente com outros órgãos de fomento à pesquisa. O fluxo monetário que entra no sistema é utilizado com os serviços e a mão de obra. Serviços aqui se referem aos gastos com alvenaria, aquisição dos equipamentos e gasto com energia elétrica.

Eletricidade, telecomunicações (telecom) e mão de obra são fontes externas necessárias para o funcionamento dos dois sistemas. A interação entre essas fontes e os estoques são pré-requisitos básicos para tornar possível as saídas dos sistemas (recursos de TI), nesse caso, recursos computacionais disponíveis ao usuário final. Apesar de um DC prover diversos tipos de recursos, como por exemplo, hospedagem de sites e aplicações distribuídas, neste estudo são considerados os recursos de armazenamento (*bytes*) e infraestrutura (máquinas virtuais) devido às razões discutidas na Metodologia.

## **5.2 Tabelas de avaliação em energia**

As tabelas utilizadas para apresentar a síntese em energia dos sistemas estudados foram subdivididas em sete categorias: infraestrutura, computadores, eletrônicos, telecomunicações, outros, operação e serviços. Cada categoria possui uma determinada quantidade de itens que representam as fontes externas de recursos utilizadas por cada sistema. Na categoria infraestrutura são apresentados os recursos de energia que compõem a estrutura física do prédio. A categoria computadores contabiliza os principais equipamentos presentes no DC (servidores de rede). As duas próximas categorias (eletrônicos e telecomunicações) apresentam os demais equipamentos presentes no DC, entre eles, *switches*, *storages*, roteadores e equipamentos de refrigeração. Essa divisão em categorias foi necessária, pois de acordo com a referência utilizada para os dados primários (EPA, 2001), cada tipo de equipamento possui quantidades distintas de materiais, como plástico, cobre e aço, entre outros. Na categoria outros estão representados os *racks*, que são os armários que abrigam os servidores de rede, os *switches* e os *storages*. Na categoria operação estão contabilizados os recursos relacionados à energia elétrica e mão de obra. Dentro dela, o item eletricidade representa a quantidade de energia (joules) consumida pelas infraestruturas estudadas. A mão de obra direta é calculada de acordo com a abordagem proposta por Ulgiati e Brown (2014), na qual os salários recebidos pela

equipe de manutenção/suporte são multiplicados pela relação seJ/PIB do Brasil, pois segundo os autores, a energia necessária para dar suporte aos diferentes níveis de educação e treinamento não estão bem definidos para a maioria das economias mundiais. A categoria serviços contabiliza todos os serviços indiretos associados aos sistemas estudados.

Diferentemente de uma abordagem tradicional em energia, na qual todos os serviços são agrupados em um único item, nesse trabalho eles foram apresentados individualmente para mostrar a real contribuição de cada um dentro do sistema. Nessa categoria, dois itens merecem atenção especial: i) custo de aquisição, calculado com base no valor de aquisição dos equipamentos e que representa de forma indireta os gastos com PD&I dos equipamentos e, ii) gasto com energia elétrica, que contabiliza os serviços necessários para geração e transmissão da energia elétrica no Brasil.

Além da divisão em categorias, outra diferença de estrutura das tabelas apresentadas para as tradicionais é que as duas últimas colunas mostram a importância de cada item dentro do sistema, considerando e não considerando a categoria serviços. A primeira apresenta as porcentagens quando a categoria serviços não é considerada no cálculo final da energia dos sistemas. A segunda apresenta as porcentagens com a categoria serviços sendo considerada. Essa divisão foi feita para observar o comportamento dos sistemas e a influência dos serviços dentro da contabilidade total. Isso é importante porque a inclusão dos serviços na contabilidade, mesmo representando o trabalho indireto para apresentar os recursos incluindo PD&I, pode levar a valores superestimados visto que o valor de mercado está relacionado à disposição a pagar e não representa os custos de produção envolvidos. Por outro lado, a não inclusão da categoria serviços pode levar a valores subestimados, principalmente para sistemas localizados à direita da escala de energia (relacionados à tecnologia da informação), uma vez que PD&I, que consomem muita energia, não estariam incluídos.

### **5.3 Síntese em energia do Legado**

A Tabela 8 apresenta a síntese em energia do Legado. Ao analisar o sistema sem considerar a categoria serviços, observa-se um custo ambiental de  $4,40\text{E}+19$  seJ/ano. Desse total, aproximadamente 98% estão localizados na categoria operação, que engloba os itens eletricidade (J) e mão de obra. Dentre esses itens, o mais importante é a mão de obra, que sozinha representa 93,6% do orçamento anual em energia. É importante lembrar que esse cálculo foi feito com base nos salários da equipe responsável por manutenção/suporte do DC (Apêndice C). Os salários foram obtidos por meio da tabela de vencimentos disponível no site

da universidade estudada e o número de funcionários com base em dados coletados *in loco*. As demais categorias contribuem com aproximadamente 2% do orçamento total, no qual o item computadores, principais equipamentos dentro de um DC, representam apenas 1,3% do total da emergência.

Ao analisar o sistema considerando a categoria serviços, observa-se um aumento de 17,5% no orçamento anual em emergência ( $4,40\text{E}+19$  seJ/ano vs.  $5,17\text{E}+19$  seJ/ano). A importância relativa das categorias no sistema permanece semelhante, ou seja, a categoria operação continua sendo a mais significativa para o sistema, porém, sua influência diminui de aproximadamente 98% para cerca de 84%. A mão de obra continua sendo o item que mais influência, atingindo 80%. O consumo de energia elétrica, considerando-se agora a quantidade consumida em Joules e o valor gasto com os serviços de geração/transmissão, corresponde a 10% do total. O item relacionado ao custo de aquisição representa 8,4% do orçamento total. O item computadores continua praticamente com a mesma influência no sistema (de 1,3% para 1,1%).

**Tabela 8.** Síntese em emergia do Legado

Item	Descrição	Unidade	Quantidade (Unid./ano) (a)	UEV (seJ/Un.) (b)	Emergia (seJ/ano) (c)	Emergia sem serviço (%)(d)	Emergia com serviço (%)(e)
<b>Infraestrutura</b>							
1	Cal	g	7,98E+05	1,68E+09	1,34E+15	< 1,0%	< 1,0%
2	Cimento	g	1,15E+07	3,04E+09	3,50E+16	< 1,0%	< 1,0%
3	Pedra	g	2,66E+07	1,68E+09	4,48E+16	< 1,0%	< 1,0%
4	Areia	g	3,70E+07	1,68E+09	6,21E+16	< 1,0%	< 1,0%
5	Tijolo	g	1,23E+07	3,36E+09	4,14E+16	< 1,0%	< 1,0%
6	Aço	g	8,72E+06	3,16E+09	2,76E+16	< 1,0%	< 1,0%
<b>Computadores</b>							
7	Computadores	g	6,56E+06	8,90E+10	5,83E+17	1,3%	1,1%
<b>Eletrônicos</b>							
8	Plástico	g	3,61E+05	9,68E+09	3,50E+15	< 1,0%	< 1,0%
9	Aço	g	5,18E+05	3,16E+09	1,64E+15	< 1,0%	< 1,0%
10	Vidro	g	4,81E+04	2,77E+07	1,33E+12	< 1,0%	< 1,0%
11	Cobre	g	3,61E+04	3,00E+09	1,08E+14	< 1,0%	< 1,0%
12	PCI (cobre)	g	2,41E+05	3,00E+09	7,22E+14	< 1,0%	< 1,0%
<b>Telecomunicações</b>							
13	Plástico	g	1,96E+05	9,68E+09	1,89E+15	< 1,0%	< 1,0%
14	Aço	g	3,44E+04	3,16E+09	1,09E+14	< 1,0%	< 1,0%
15	Cobre	g	1,85E+04	3,00E+09	5,55E+13	< 1,0%	< 1,0%
16	PCI (cobre)	g	1,59E+04	3,00E+09	4,76E+13	< 1,0%	< 1,0%
<b>Outros</b>							
17	Rack (aço)	g	4,58E+06	3,16E+09	1,45E+16	< 1,0%	< 1,0%
<b>Operação</b>							
18	Elettricidade	J	3,43E+13	5,87E+04	2,01E+18	4,5%	3,9%
19	Mão de obra	USD	1,21E+07	3,40E+12	4,12E+19	93,6%	79,7%
<b>Emergia total sem serviços</b>					<b>4,40E+19</b>	100,0%	
<b>Serviços</b>							
20	Alvenaria ( <i>itens 1-6</i> )	USD	4,71E+04	3,40E+12	1,60E+17		< 1,0%
21	Custo de aquisição ( <i>itens 7-17</i> )	USD	1,26E+06	3,40E+12	4,28E+18		8,3%
22	Elettricidade ( <i>item 18</i> )	USD	9,53E+05	3,40E+12	3,24E+18		6,3%
<b>Emergia total com serviços</b>					<b>5,17E+19</b>		100,0%

PCI – Placa de Circuito Impressa; (a) Memorial de cálculo no Apêndice C; (b) Tabela 7 deste trabalho; (c) Emergia (seJ/ano) = Quantidade (Un./ano) X UEV (seJ/ano); (d) Emergia sem serviços (não considera os itens 20, 21 e 22); (e) Emergia com serviços (considera todos os itens da tabela)

#### 5.4 Síntese em emergia da *CloudUSP*

A Tabela 9 apresenta a síntese em emergia da *CloudUSP*. Desconsiderando a categoria serviços, observa-se uma emergia total de 5,02E+18 seJ/ano, cujo valor corresponde a aproximadamente 11% da emergia total do Legado. Ao analisar as categorias individualmente, observa-se um comportamento semelhante ao encontrado no Legado, com a categoria operação sendo a mais representativa do sistema e contribuindo com aproximadamente 98% do orçamento total em emergia. Analisando os itens que a compõem (eletricidade e mão de obra), observa-se também o mesmo comportamento, ou seja, a mão de obra é o item que mais contribui para a emergia do sistema (72,5%), porém, em valores absolutos ela é 91% menor comparada ao Legado (1,07E+06 USD/ano vs. 1,21E+07 USD/ano). Esses valores corroboram com uma das vantagens da computação em nuvens apresentada por Sultan (2010), no qual o custo com a



migração de uma infraestrutura para as nuvens pode reduzir os gastos com mão de obra devido a uma menor demanda de funcionários. A eletricidade aparece como o segundo item mais representativo, aproximadamente 25,1%. Apesar da alta representatividade desse item na energia total do sistema, o consumo de eletricidade da *CloudUSP* é 37% menor comparado ao Legado ( $2,14\text{E}+13$  J/ano vs.  $3,43\text{E}+13$  J/ano). Esse resultado corrobora com os estudos de Accenture (2011), no qual a computação em nuvens pode reduzir o consumo de energia elétrica entre 30% e 90%. Os demais itens apresentam comportamento semelhante ao do Legado, sendo que os computadores contribuem com 1,5% na *CloudUSP*.

Considerando a categoria serviços no cálculo da energia, o orçamento anual da *CloudUSP* aumenta aproximadamente em sete vezes ( $5,02\text{E}+18$  seJ/ano para  $3,59\text{E}+19$  seJ/ano). Diferentemente do Legado, no qual após considerar os serviços o comportamento das categorias não se altera, na *CloudUSP* observa-se uma alteração, pois a categoria serviços torna-se a mais representativa do sistema (aproximadamente 86%), seguida pela categoria operação com 13,6%. Analisando os itens separadamente observa-se o grande impacto do custo de aquisição no sistema, pois sozinho contribui com mais de 80% da energia total do sistema. Em números absolutos esse valor é cerca de seis vezes superior ao investido no Legado, o que sugere com base na abordagem aplicada nesse trabalho, que os equipamentos presentes na *CloudUSP* demandam maior investimento em PD&I do que os do Legado, ou que seu valor de mercado estão superestimado em relação ao custo real de sua produção, no qual a disposição a pagar inclui também o custo subjetivo da marca.

**Tabela 9.** Síntese em energia da *CloudUSP*

Item	Descrição	Unidade	Quantidade (Unid./ano) (a)	UEV (seJ/Un.) (b)	Energia (seJ/ano) (c)	Energia sem serviço (%)(d)	Energia com serviço (%)(e)
<b>Infraestrutura</b>							
1	Cal	g	9,85E+04	1,68E+09	1,65E+14	< 1%	< 1%
2	Cimento	g	1,42E+06	3,04E+09	4,32E+15	< 1%	< 1%
3	Pedra	g	3,29E+06	1,68E+09	5,52E+15	< 1%	< 1%
4	Areia	g	4,56E+06	1,68E+09	7,66E+15	< 1%	< 1%
5	Tijolo	g	1,52E+06	3,36E+09	5,11E+15	< 1%	< 1%
6	Aço	g	1,08E+05	3,16E+09	3,40E+14	< 1%	< 1%
<b>Computadores</b>							
7	Blade Server 200/230	g	8,36E+05	8,90E+10	7,44E+16	1,5%	< 1%
<b>Eletrônicos</b>							
8	Plástico	g	7,80E+05	9,68E+09	7,55E+15	< 1%	< 1%
9	Aço	g	1,12E+06	3,16E+09	3,53E+15	< 1%	< 1%
10	Vidro	g	1,04E+05	2,77E+07	2,88E+12	< 1%	< 1%
11	Cobre	g	7,80E+04	3,00E+09	2,34E+14	< 1%	< 1%
12	PCI (cobre)	g	5,20E+05	3,00E+09	1,56E+15	< 1%	< 1%
<b>Telecomunicações</b>							
13	Plástico	g	1,79E+05	9,68E+09	1,73E+15	< 1%	< 1%
14	Aço	g	3,14E+04	3,16E+09	9,92E+13	< 1%	< 1%
15	Cobre	g	1,69E+04	3,00E+09	5,07E+13	< 1%	< 1%
16	PCI (cobre)	g	1,45E+04	3,00E+09	4,35E+13	< 1%	< 1%
<b>Outros</b>							
17	Rack (aço)	g	3,90E+06	3,16E+09	1,23E+16	< 1%	< 1%
<b>Operação</b>							
18	Elettricidade	J	2,14E+13	5,87E+04	1,26E+18	25,1%	3,5%
19	Mão de obra	USD	1,07E+06	3,40E+12	3,64E+18	72,5%	10,1%
<b>Energia total sem serviço</b>					<b>5,02E+18</b>	<b>100,0%</b>	
<b>Serviços</b>							
20	Alvenaria (itens 1-6)	USD	5,81E+03	3,40E+12	1,97E+16		< 1%
21	Custo de aquisição (itens 7-17)	USD	8,49E+06	3,40E+12	2,89E+19		80,3%
22	Elettricidade (item 18)	USD	5,96E+05	3,40E+12	2,03E+18		5,6%
<b>Energia total com serviço</b>					<b>3,59E+19</b>		<b>100,0%</b>

PCI – Placa de Circuito Impressa; (a) Memorial de cálculo no Apêndice C; (b) Tabela 7 deste trabalho; (c) Energia (seJ/ano) = Quantidade (Un./ano) X UEV (seJ/ano); (d) Energia sem serviços (não considera os itens 20, 21 e 22); (e) Energia com serviços (considera todos os itens da tabela)

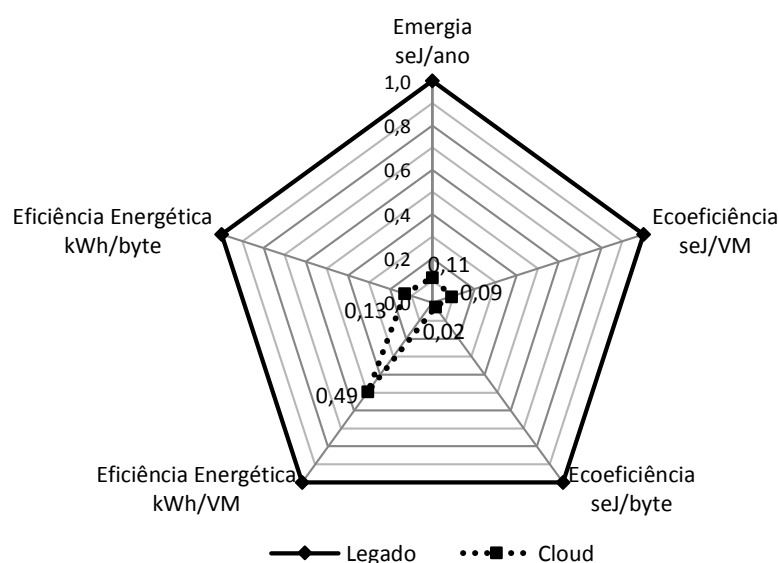
## 5.5 Indicadores de ecoeficiência e eficiência energética

Analisar os dois sistemas com base apenas no orçamento anual em energia mostra apenas qual deles demanda mais ou menos energia para sua implantação e manutenção, mas não indica a eficiência na entrega de serviços aos usuários finais. Dessa forma, baseando-se nas unidades funcionais apresentadas na Metodologia, a ecoeficiência dos sistemas foi calculada. A Tabela 10 apresenta a energia total dos dois sistemas estudados (Legado e CloudUSP), suas capacidades em disponibilizar máquinas virtuais e unidades de armazenamento e o consumo direto de energia elétrica para operação. Nesta tabela, é possível visualizar que a *CloudUSP* consome 37% menos energia elétrica do que o Legado.

**Tabela 10.** Energia, consumo de eletricidade, capacidade de armazenamento e disponibilidade de máquinas virtuais do Legado e da *CloudUSP*

	Energia dos sistemas		Unidades funcionais		Consumo de energia (kWh/ano)
	Sem serviços (seJ/ano)	Com serviços (seJ/ano)	Armazenamento (Terabyte, TB)	Máquinas virtuais (unidades)	
Legado	4,40E+19	5,17E+19	2.188	5.700	9.530.880
<i>CloudUSP</i>	0,50E+19	3,59E+19	10.435	7.200	5.956.800

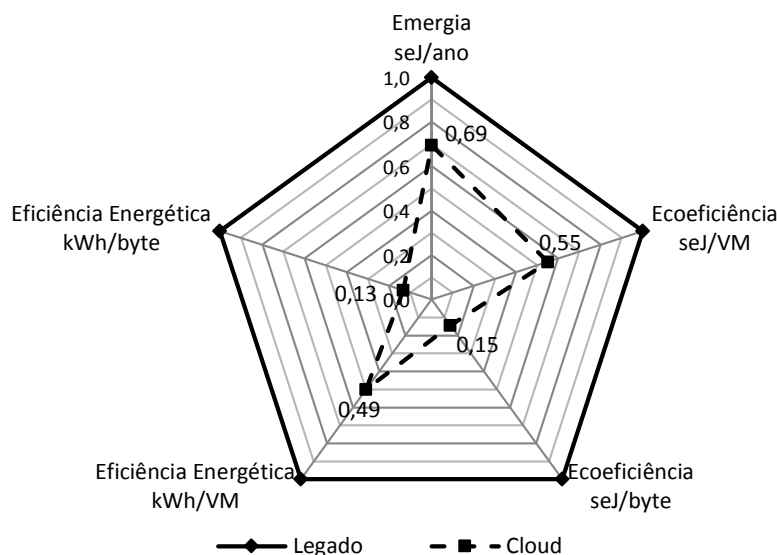
A Figura 7 apresenta uma comparação gráfica dos dois sistemas estudados desconsiderando a categoria serviços. Todos os indicadores do Legado foram considerados parâmetros de referência e receberam peso um. Os mesmos indicadores da *CloudUSP* foram obtidos pela razão entre o seu valor e o equivalente no Legado. Analisando a Figura 7, percebe-se como o ambiente de computação em nuvens possui melhores indicadores comparado aos do Legado. O orçamento anual em energia da *CloudUSP* é 89% menor, quando comparado ao Legado. Nos indicadores de ecoeficiência (seJ/VM e seJ/byte) é encontrado um comportamento semelhante. A demanda em energia por máquina virtual da *CloudUSP* é 91% menor do que no Legado, enquanto a demanda por bytes armazenados é 98% inferior. Ao analisar a eficiência energética, percebe-se que a *CloudUSP* consome menos energia elétrica por máquina virtual (51% a menos) e por bytes armazenados (87%). Esses resultados mostram maior eficiência em TI da *CloudUSP* frente ao Legado e vão ao encontro com a eficiência em TI apontada por Marston et al. (2011).



**Figura 7.** Comparação gráfica da *CloudUSP* e Legado, considerando demanda de energia, ecoeficiência e eficiência energética calculados sem contabilizar a categoria serviços

Considerando a categoria serviços, a Figura 8 mostra um comportamento diferente ao da Figura 7, principalmente para os indicadores seJ/ano e seJ/VM. A *CloudUSP* continua sendo mais eficiente que o Legado em relação à demanda em energia, porém a sua eficiência é

reduzida de 89% para 31%. Isso pode ser explicado pela elevada emergência do item custo de aquisição dos equipamentos existentes na *CloudUSP*. Esse aumento no orçamento anual em emergência provoca uma redução da ecoeficiência dos indicadores seJ/VM (de 91% para 45%) e seJ/byte (de 98% para 85%). O consumo de energia elétrica continua inalterado, pois a categoria serviços não influencia na quantidade de eletricidade consumida pelos sistemas.



**Figura 8.** Comparação gráfica da *CloudUSP* e Legado, considerando demanda de emergência, ecoeficiência e eficiência energética calculados contabilizando a categoria serviços

## 5.6 Green IT e sustentabilidade de TI

Murugesan (2008) definiu *Green IT* ou TI verde como sendo o estudo e a prática de projetar, fabricar, utilizar e descartar computadores, servidores e dispositivos associados (monitores, impressoras, dispositivos de armazenamento e de redes) de forma eficiente e eficaz, com mínimo ou nenhum impacto sobre o meio ambiente. Brundtland (1987) definiu sustentabilidade como sendo o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas próprias necessidades.

Uma relação entre as duas definições pode ser feita no momento em que as práticas de *Green IT* buscam um equilíbrio entre os sistemas naturais (meio ambiente) e os sistemas feitos pelo homem, nesse caso, *data centers*. Tal equilíbrio deveria estar presente em todas as fases de projeto, implantação, operação e descarte de um novo DC, porém, o que normalmente se encontra na literatura científica relacionada é a associação do termo *Green IT* com a redução do consumo direto de energia elétrica e emissões de CO<sub>2</sub>, como visto no Referencial teórico. O problema desses estudos é que todos estão focados apenas na fase de utilização dos sistemas, sem levar em consideração o projeto, a fabricação e o descarte dos equipamentos.

Se a análise de ambos os sistemas aqui estudados for feita com base no consumo direto de energia, como apresentado pela literatura, pode-se considerar que a *CloudUSP* é mais verde do que o Legado, pois sua infraestrutura consome menor quantidade de energia elétrica durante a fase de utilização. Além disso, a sua eficiência energética é superior, pois consome menos energia por máquina virtual ofertada e por *byte* armazenado. Tais resultados corroboram com os encontrados por Williams et al. (2014), que apresentam a redução no consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de ambientes de computação em nuvens comparado aos tradicionais.

Além do consumo direto de energia (kWh) e as emissões de CO<sub>2</sub>, outros indicadores vem sendo utilizados para mensurar a eficiência energética de DC, entre eles, *Carbon Usage Effectiveness (CUE)*, *Energy Reuse Factor (ERF)*, *Data Center Infrastructure Efficiency (DCiE)*. Um dos mais utilizados é o *Power Usage Effectiveness (PUE)*, que apresenta a razão entre o consumo total de energia elétrica da infraestrutura (equipamentos de TI + infraestrutura) e o consumo dos equipamentos. Apesar desse indicador ser utilizado pelo *Green Grid Consortium*, órgão que avalia e classifica os 500 DCs mais eficientes do mundo, ele está diretamente associado à fase de utilização, desconsiderando as demais.

Entretanto, ao utilizar a síntese em energia para classificar os sistemas com base nos conceitos de *Green IT*, não só a fase de utilização é considerada, mas também a de projeto e fabricação, contabilizada indiretamente pelos itens custo de aquisição e alvenaria. No orçamento anual em energia, expresso em emjoules solares (*seJ*), todas as contribuições do meio ambiente para obtenção dos serviços computacionais são contabilizadas. Analisando o valor encontrado em cada sistema, pode-se dizer que a *CloudUSP* aqui avaliada é mais verde do que o Legado, pois requer menos recursos.

A avaliação da ecoeficiência dos sistemas, considerando ou não a categoria serviços, aponta para o mesmo resultado, ou seja, a *CloudUSP* pode ser considerada mais verde do que o Legado. Essa consideração baseia-se no menor custo ambiental por máquina virtual ofertada e por *byte* armazenado. Esses resultados vão de encontro aos achados de Marston et al. (2011), no qual o uso eficiente de recursos computacionais é uma das ideias encapsuladas pelo conceito de *Green IT*.

Em resumo, com base nas fases avaliadas (projeto, fabricação e utilização) e nos resultados obtidos, pode-se considerar o ambiente em computação em nuvens aqui estudado - *CloudUSP* - como sendo mais verde do que o tradicional – Legado. Para fortalecer ainda mais esta consideração, uma análise dos descartes de cada equipamento presente em cada sistema

deveria ser considerada. Tal análise pode ou não apontar um desempenho diferente dos resultados aqui obtidos.

Em relação à sustentabilidade dos sistemas, Brown e Ulgiati (1997) apontam que um dos principais problemas é modelar o cálculo da interação entre os impactos ambientais e as contribuições dos processos econômicos. No intuito de quantificar a sustentabilidade, os autores desenvolveram um indicador de sustentabilidade (*Environmental Sustainability Index, ESI*) que é obtido pela razão entre o EYR, que indica a capacidade do sistema em explorar os recursos locais, e o ELR, que avalia a carga ambiental de um sistema. Porém, para que o ESI possa ser calculado, os sistemas estudados necessitariam de recursos locais renováveis (R) desprezíveis ou inexistentes tanto no Legado quanto na *CloudUSP*. Ambos os sistemas aqui estudados são formados exclusivamente por recursos oriundos da economia (F). Mesmo se o conceito de renovabilidade parcial como aplicado por Bastianoni et al. (2001) fosse considerado, as quantidades de (R) seriam insignificantes e não seriam capazes de apontar qual dos sistemas é mais sustentável. Além disso, acredita-se que sistemas de informação não são projetados para serem sustentáveis, mas para serem mais eficientes, tanto quanto no consumo de energia e demanda de energia, quanto na oferta de serviços aos usuários. Essa eficiência foi avaliada neste trabalho. Acredita-se que no contexto de sustentabilidade, o mais importante e fundamental é a qualidade das informações armazenadas pelos DCs que podem auxiliar no desenvolvimento de uma sociedade mais próspera, na qual a sustentabilidade da transmissão da informação (ou seja, a sustentabilidade do DC) seria um objetivo secundário.

## 6 Conclusões

### 6.1 Avaliação dos resultados

Este trabalho teve como uma das mais importantes contribuições para os usuários da metodologia em emergia, a determinação do valor da UEV representativo dos computadores. Este valor foi calculado e apresentado no segundo artigo deste trabalho (Apêndice A) e é da ordem de  $8,10\text{E}+10$  seJ/g sem incluir serviços e  $1,60\text{E}+12$  seJ/g incluindo serviços quando a análise é feita com base na massa dos equipamentos, e de  $1,7\text{E}+04$  seJ/FLOPS sem incluir serviços, e  $3,1\text{E}+05$  seJ/FLOPS, incluindo serviços no cálculo.

A busca por unidades funcionais que pudessem comparar os dois sistemas levou ao desenvolvimento de indicadores que representam a ecoeficiência dos sistemas. Esses indicadores foram apresentados na Metodologia (seJ/VM e seJ/byte), indicando o real benefício de cada sistema em relação aos usuários finais.

Ao avaliar os sistemas (Legado e *CloudUSP*) desconsiderando a categoria serviços, obteve-se que a *CloudUSP* demanda 89% menos emergia em comparação ao Legado ( $0,50\text{E}+19$  seJ/ano vs.  $4,40\text{E}+19$  seJ/ano). Esse desempenho é reduzido quando a categoria serviços é considerada no cálculo, no qual a *CloudUSP* passa a demandar 31% menos emergia do que o Legado ( $3,59\text{E}+19$  seJ/ano vs.  $5,17\text{E}+19$  seJ/ano, respectivamente).

A análise de ecoeficiência foi utilizada para analisar a demanda por máquina virtual e por unidade de *byte* armazenado. Nesta análise, uma máquina virtual na *CloudUSP* demanda 91% menos emergia do que uma máquina virtual no Legado ( $0,69\text{E}+15$  seJ/VM vs.  $7,72\text{E}+15$  seJ/VM). Se a categoria serviços for considerada, essa ecoeficiência é reduzida para 45% ( $4,99\text{E}+15$  seJ/VM vs.  $9,07\text{E}+15$  seJ/VM).

Na análise por unidade de *byte* armazenado, quando não considerada a categoria serviços, um *byte* na *CloudUSP* é 98% mais ecoeficiente do que o mesmo *byte* armazenado no Legado ( $0,05\text{E}+04$  seJ/byte vs.  $2,01\text{E}+04$  seJ/byte). Considerando a categoria serviços, a ecoeficiência é reduzida para 85% ( $0,34\text{E}+04$  seJ/byte vs.  $2,36\text{E}+04$  seJ/byte).

Avaliando a eficiência energética dos dois sistemas, percebe-se que a *CloudUSP* consome 37% menos energia elétrica do que o Legado ( $5,96\text{E}+06$  kWh/ano vs.  $9,41\text{E}+06$  kWh/ano). O consumo energético de uma máquina virtual na *CloudUSP* é 51% menor do que uma máquina virtual no Legado ( $0,83\text{E}+03$  kWh/VM vs.  $1,65\text{E}+03$  kWh/VM) e um *byte* armazenado na *CloudUSP* consome 87% menos energia do que o mesmo *byte* armazenado no Legado ( $0,57\text{E}-09$  kWh/byte vs.  $4,30\text{E}-09$  kWh/byte).

Com base nos indicadores obtidos neste trabalho (ecoefficiência e eficiência energética), sustenta-se a conclusão de que a *CloudUSP* pode ser considerada mais verde do que o Legado. Mesmo com todos os indicadores de energia, ecoeficiência e eficiência energética favoráveis ao ambiente de computação em nuvens (*CloudUSP*), não se pode ainda concluir que ela é uma tecnologia verde, pois além de desconsiderar a fase de descarte dos equipamentos neste estudo, não existe um valor de referência para os indicadores calculados em que se pode rotular um sistema como verde.

## 6.2 Contribuições do trabalho

Frente aos resultados apresentados, observa-se que a universidade acertou ao implantar a *CloudUSP* em suas instalações, porém, a real vantagem do ambiente de computação em nuvens (*CloudUSP*) vai ocorrer no momento em que todos os 144 DCs do Legado estiverem 100% migrados para a nuvem. Enquanto isso não ocorrer, pode-se dizer que a universidade aumentou sua carga ambiental de operação, mantendo duas infraestruturas de TI funcionando ao mesmo tempo.

A computação em nuvens é uma iniciativa com melhor desempenho em energia e energia (consumo direto), porém, esse esforço não deve ficar apenas dentro do DC e sim ser expandida até os usuários finais. A adoção de terminais *thin-client* que exploram o potencial das nuvens poderia melhorar o consumo direto de energia da universidade e, consequentemente, reduzir o seu impacto ambiental relacionado às emissões de CO<sub>2</sub>.

O descarte dos equipamentos deve ser considerado no planejamento estratégico da universidade. No momento em que todos os 144 DCs estiverem migrados para a *CloudUSP*, a universidade possuirá 1.425 computadores além de equipamentos de rede e refrigeração que deverão ser descartados ou realocados entre os diversos setores da universidade.

A mão de obra do Legado é outro ponto importante, pois como discutido ao longo do estudo, a *CloudUSP* demanda uma quantidade menor de funcionários para sua operação/manutenção devido centralização das estruturas. Vale ressaltar que este estudo utilizou dados no período compreendido entre maio/2013 e agosto/2014.

Apesar da *CloudUSP* ter sido considerada “mais verde” do que o Legado, questões relacionadas à segurança e otimização dos DCs, como por exemplo, o uso de algoritmos e técnicas que reduzem o consumo de energia, não foram consideradas.



## **7 Propostas para pesquisas e trabalhos futuros**

Abaixo são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que podem complementar este estudo.

- 1) Utilizar a mesma abordagem sistêmica aplicada neste estudo em outras empresas ou instituições que migraram suas infraestruturas de TI para as nuvens. Dessa forma, os resultados não ficariam restritos ao DC de uma universidade, como avaliado neste trabalho;
- 2) Um estudo comparativo de migração de um DC tradicional para a computação em nuvens utilizando nuvens públicas.
- 3) Um estudo levando em consideração o descarte/relocação dos equipamentos após a migração para o ambiente das nuvens.
- 4) Um estudo considerando a otimização dos DC e/ou a segurança dos dados nele armazenado.


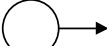
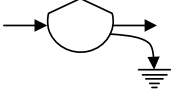
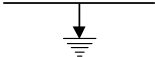
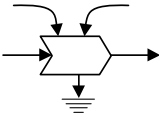
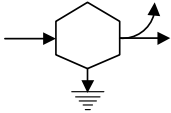
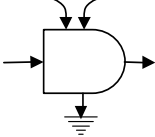
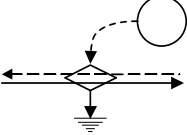
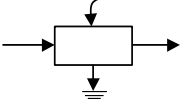
## 8 Referências bibliográficas

- ACCENTURE, 2011. **Cloud Computing and Sustainability: the Environmental Benefits of Moving to the Cloud.** Accenture & WSP.
- AGOSTINHO, F., PEREIRA, L., 2013. **Support area as an indicator of environmental load: Comparison between Embodied Energy, Ecological Footprint, and Emergy Accounting methods.** Ecological Indicators 24 (2013), ps. 494–503.
- ALMEIDA, C.M.V.B., SANTOS, A.P.Z., BONILLA, S.H., GIANETTI, B.F., HUISINGH, D., 2013. **The roles, perspectives and limitations of environmental accounting in higher educational institutions: an emergy synthesis study of the engineering programme at the Paulista University in Brazil.** Journal of Cleaner Production 52, 380-391.
- ANEEL, 2013. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2013.
- ARDITO, L., MORISIO, M., 2014. **Green IT – Available data and guidelines for reducing energy consumption in IT systems.** Sustainable Computing: Informatics and Systems 4 (2014), ps. 24-32.
- ATREY, A., JAIN, N., IYENGAR, N. Ch. S.N, 2013. **A Study on Green Cloud Computing.** International Journal of Grid and Distributed Computing, Vol 6, N. 6 (2013), ps 93-102.
- AVRAM, M., 2014. **Advantages and challenges of adopting cloud computing from an enterprise perspective.** Procedia Technology 12, ps. 529-534.
- BARGIGLI S, ULGIATI S., 2003. **Emergy and Life-cycle assessment of steel production in Europe.** Biennial Emergy Evaluation and Research Conference, 2nd, Gainesville, Florida. Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology, 2003.
- BASTIANONI S.; MARCHETTINI N.; PANZIERI M.; TIEZZI E., 2001. **Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy).** Journal of Cleaner Production, 9, ps.365-373.
- BERL, A., GELENBE, E., GIROLAMO, M., GIULIANI, G., MEER, H., DANG, M. Q., PENTIKOUSIS, K., 2010. **Energy-Efficient Cloud Computing.** The Computer Journal, Vol. 53 N. 7, 2010.
- BOLLA, R., BRUSCHI, R., CARREGA, A., DAVOLI, F., SUINO, D., VASSILAKIS, C., ZAFEIROPOULOS, A., 2012. **Cutting the energy bills of Internet Service Providers and telecoms trough power management: An impact analysis.** Computers Networks 56 (2012), ps. 2320-2342. Elsevier.
- BOLLA, R., BRUSCHI, R., ORTIZ, O. M., RUBALDO, M., 2014. **Burst2Save: Reducing network-induced energy consumption in the home environment.** Computer Communications 52 (2014), ps. 37-46. Elsevier.
- BOLLA, R., BRUSCHIB, R., ORTIZA, O. M. J., RUBOLDO, M., 2014. **Burst2Save: Reducing network-induced energy consumption in the home environment.** Computer Communications 52 (2014), ps. 37-46.
- BROWN, M. T., ULGIATI, S., 1997. **Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation.** Ecological Engineering 9, ps. 51-69.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S., 1997. **Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation.** Ecological Engineering 9 (1997), ps. 51-69.
- BROWN, M.T. ULGIATI, S., 2002. **Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems.** Journal of Cleaner Production, 10, ps. 321-334.
- BROWN, M. T., ULGIATI, S., 2004. **Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odums contributions to quantifying and understanding systems.** Ecological Modelling 178, ps. 201-213.
- BRUNDTLAND, G., 1987 (Ed.). **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development.** Oxford University Press, Oxford, 1987.
- BURANAKARN V. 1998. **Evaluation of recycling and reuse of building materials using the emergy analysis method.** Ph.D. thesis. University of Florida. Gainesville. FL. USA.
- BUYYA, R., YEO, C S., VENUGOPAL, S., BRANDIC, I, 2009. **Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility.** Future Generation Computer Systems, 2009, 25, ps. 599-616.

- CAPRA, E., FRANCALANCI, C., SLAUGHTERB, S. A., 2012. **Is software green? Application development environments and energy efficiency in open source applications**. Information and Software Technology 54 (2012), ps. 60-71.
- CARVALHO, J. G. A. **Avaliação de uma construção utilizando a contabilidade ambiental em emergia**. 2010. 246 f. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Paulista, São Paulo, 2010.
- COHEN, M. J. SWEENEY, S. BROWN, M.T, 2004. **Computing the Unit Energy Value of Crustal Elements**. Energy Synthesis 4, 16.1-16.12.
- DRH, 2014. **Diretoria de Recursos Humanos – USP**. Disponível em: <<http://www.usp.br/drh/>>. Acesso em: jul. 2014.
- DUY, T. V. T., SATO, Y. INOBUCHI, Y., 2010. **Performance Evaluation of a Green Scheduling Algorithm for Energy Savings in Cloud Computing**. Proceedings of the IEEE International Symposium of the Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum (IPDPSW), (2010) April 19-23; Atlanta, GA.
- EPA, 2001. **Electrical and Electronic Equipment in Ireland: A status report**. Disponível em: <<http://www.environ.ie/en/Publications/Environment/Waste/WEEE/FileDownload,1342,en.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2012.
- GOYAL, K., KINGER, S., 2013. **Review of Different Energy Saving Techniques in Cloud Computing**. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, V. 3, Issue 7, July 2013.
- HAMDAQA, M., TAHVILDARI, L., 2012. **Cloud Computing Uncovered: A Research Landscape**. Advances in Computers. Volume 86, 2012, ps. 41-85.
- Internet Hall of Fame, 2014. Disponível em: <<http://Internethalloffame.org/inductees/leonard-kleinrock>>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- INTERNETWORLDSTATS, 2012. Disponível em: <<http://www.Internetworldstats.com/emarketing.htm>>. Acesso em: 26 mai. 2014.
- JOUMAA, C., KADRY, S., 2012. **Green IT: case studies**. Energy Procedia 16, ps. 1052-1058, Elsevier.
- MADHUBALA, R., 2012. **An Illustrative Study on Cloud Computing**. International Journal of Soft Computing and Engineering 1, 2012, ps. 286-290.
- MANTOAM, E. J., MILAN, M.M GIMENEZ, L. M., ROMANELLI, T. L., 2014. **Embodied energy of sugarcane harvesters**. Biosystems engineering 118 (2014), ps. 156-166. Elsevier.
- MARSTON, S. LI, Z., BANDYOPADHYAY, S., ZHANG, J., GHALSASI, A., 2011. **Cloud computing — The business perspective**. Decision Support Systems 51 (2011), ps. 176–189.
- MEI, L., CHAN, W.K., TSE, T.H., 2008. **A Tale of Clouds: Paradigm Comparisons and Some Thoughts on Research Issues**. IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference.
- MILLER, M., 2008. **Cloud computing: Web-based applications that change the way you work and collaborate online**. IN, Indianapolis: Que Publisher.
- MURUGESAN, S., 2008 **Harnessing Green IT: Principles and Practices**. IEEE IT Professional, January–February 2008, ps 24-33.
- NEAD 2008. Disponível em: <<http://www.cep.ees.ufl.edu/nead/data.php?country=20&year=360#>>>. Acesso em: set. 2013.
- NIST. National Institute of Standards and Technology, 2011. **The NIST Definition of Cloud Computing**. Disponível em: <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2014.
- ODUM, H. T., 1996. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making**. Ed. John Wiley & Sons LTD, New York.
- ODUM, H.T., 1973. **Energy, ecology and economics**. Royal Swedish Academy of Science. AMBIO 2 (6), ps. 220-227.

- ODUM, H.T., BROWN, M.T., BRANDT-WILLIAMS, S., 2000. **Handbook of emergy evaluation, Folio#1, Introduction and Global Budget**. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, USA. Available at <http://www.emergysystems.org/folios.php>.
- OLIVEIRA, T., THOMAS, M., ESPADANAL, M., 2014. **Assessing the determinants of cloud computing adoption. An analysis of the manufacturing and services sectors**. *Information & Management*, 2014, 51, ps. 497-510.
- PAL, S.K., 2008. **21st century information technology revolution**. *Ubiquity* 9 (24).
- PULSELLI, R.M., SIMONCINI, E., RIDOLFI, E., BASTIANONI, S., 2008. **Specific emergy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport**. *Ecological Indicators* 8, ps. 647-656.
- SINDUSCON, 2013. Disponível em: <<http://www.sinduscon-mg.org.br/>>. Acesso em: 05 jan. 2014.
- SLESSER M, 1974, editor. **Energy analysis Workshop on methodology and Conventions**. Stockholm, Sweden: IFIAS; 1974. 89ps.
- STIEL, F., TEUTEBERG, F., 2014 **Measuring the environmental impact of IT/IS solutions: A life cycle impact modelling approach**. *Environmental Modelling & Software*, 2014. Elsevier.
- SULTAN, N., 2014. **Making use of cloud computing for healthcare provision: Opportunities and challenges**. *International Journal of Information Management* 34 (2014), ps. 177-184. Elsevier.
- SULTAN, N., 2010. **Cloud computing for education: A new dawn?** *International Journal of Information Management* 30 (2010), ps. 109-116.
- TIEZZI, E.; MARCHETTINI, N., 1999. **Che Cosè Lo Sviluppo Sostenibile? Le basi scientifiche sostenibilità e i guasti del pensiero unico**. Donzelli Editore, Roma, Itália, 1999.
- ULGIATI S, BROWN MT., 2002. **Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: the case of electricity production**. *Journal of Cleaner Production* 2002; 10, ps. 335-48.
- ULGIATI, S., BROWN, M.T., 2014. **Labor and services as information carriers in emergy-LCA accounting**. *Journal of Environmental Accounting and Management* 2, ps. 160-167. Elsevier.
- VECCHIOLA, C., CHU, X., BUYYA, R., 2009. **Aneka: A software platform for .net-based cloud computing**. CoRR, abs/0907.4622.
- WBCSD, 1992. **World Business Council for Sustainable Development. Changing Course**. In: SCHMIDHEINY, S. et al. (Ed.), with the Business Council for Sustainable Development. MIT Press, Cambridge.
- WILLIAMS, D. R., THOMOND, P., MACKENZIE, I., (2014). **The greenhouse gas abatement potential of enterprise cloud computing**. *Environmental Modelling & Software* 56 (2014), ps. 6-12.
- YANG, Q., CHEN, G. Q., LIAO, S. ZHAO, Y. H., PENG, H. W., CHEN, H. P., 2013. **Environmental sustainability of wind power: An emergy analysis of a Chinese wind farm**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 25, September 2013, Pages 229–239

## Anexo I. Principais símbolos utilizados no diagrama de energia

	<b>Fluxo de energia:</b> um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.
	<b>Fonte:</b> um recurso externo que fornece energia de acordo com um programa controlado externamente (função força).
	<b>Depósito:</b> uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída (variáveis de estado).
	<b>Sumidouro de energia:</b> dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispensam energia.
	<b>Interação:</b> intersecção interativa de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.
	<b>Consumidor:</b> unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retroalimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	<b>Produtor:</b> unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.
	<b>Transação:</b> uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada). O preço é mostrado na figura como fonte de energia externa.
	<b>Caixa:</b> símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando assim, um subsistema.

Fonte: adaptado de Odum (1996).

## Apêndice A – 1º artigo

### Contabilidade ambiental de centros de processamento de dados: computação tradicional versus computação em nuvens

SALVO<sup>a, b, \*</sup>, André, AGOSTINHO<sup>b</sup>, Feni,

<sup>a</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais  
Câmpus Inconfidentes

<sup>b</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Paulista  
São Paulo

\* Correspondência com autor, [andre.amaral@ifsuldeminas.edu.br](mailto:andre.amaral@ifsuldeminas.edu.br)

#### Resumo

A crescente demanda por serviços de tecnologia da informação atua paralelamente aos contínuos avanços tecnológicos na área da computação e nos meios de comunicação, onde centro de processamento de dados (CPD) são constantemente atualizados ou implementados. Para otimizar os CPD, diversos conceitos e tecnologias surgiram nos últimos anos, onde a chamada computação em nuvens é a mais recente e possui papel de destaque. Essa técnica permite melhorias nas taxas de utilização dos equipamentos e, por conseguinte, uma redução dos gastos com energia elétrica e infraestrutura. Diversos estudos mostram os benefícios tecnológicos e econômicos dos CPD nas nuvens, porém necessitam, em sua maioria, de um estudo complementar para avaliar os custos ambientais desta nova tecnologia. Neste sentido, aplicar a contabilidade ambiental em eMergia mostra-se com grande potencial. O objetivo deste trabalho é avaliar o custo ambiental da implantação e operação de CPDs para fins acadêmicos, comparando um ambiente virtualizado e outro não virtualizado. Os resultados indicam que o CPD não-virtualizado demanda  $3,39 \times 10^{17}$  seJ/ano, onde 56% deste total refere-se à rotinas de operação e manutenção, incluindo os gastos com energia elétrica, links de comunicação e mão de obra. O CPD virtualizado demanda uma emergia total 86% superior ao do não-virtualizado, indicando maior custo emergético. Diferentemente ao não-virtualizado, o principal custo do CPD virtualizado refere-se à aquisição dos equipamentos, alcançando 72% da emergia total. Ao mesmo tempo em que o CPD virtualizado demanda maior quantidade de emergia, ele possui certa vantagem comparado ao não-virtualizado quando contabilizados os benefícios providos, como exemplo, o número de usuários atendidos e o poder total de processamento (seJ/usuários e seJ/Benchmark). De maneira geral, a técnica de virtualização tende a possuir melhor relação custo-benefício comparada ao ambiente não-virtualizado.

*Palavras-chave:* Centro de processamento de dados, emergia, computação em nuvens, virtualização

#### 1 Introdução

De acordo com Uddin e Azizah (2012), a crescente demanda dos usuários por computação, rede e armazenamento de arquivos tem tornado cada vez mais complexos os Centros de Processamento de Dados (CPD). Este cenário já havia sido previsto por Leonard Kleinrock<sup>3</sup>, que apontava que as redes estavam em sua infância e que iriam crescer, tornando-

<sup>3</sup> Considerado o criador da Internet e desenvolvedor da teoria matemática dos pacotes de rede

se um serviço essencial atendendo residências e empresas de diversos setores (Buyya, 2009). Segundo Uddin e Azizah (2012), esses centros podem possuir milhares de servidores e consumir a mesma quantidade de energia que uma cidade pequena. Em pesquisas recentes, foi constatado que a maioria dos servidores em um CPD operam com taxas inferiores a 30% do seu poder de processamento (Marston et al., 2011). Veras e Kassick (2011) afirma que a quantidade de energia consumida por um servidor operando a plena carga ou a 15% é mesma. Dessa forma, a computação em nuvens pode ser uma alternativa para explorar melhor os recursos de um servidor, contribuindo para uma economia de energia. Segundo Madhubala (2012), computação em nuvens é resultado da convergência e evolução de vários conceitos de virtualização, projeto de aplicativos distribuídos, grades de computadores e gerenciamento avançado de tecnologia da informação.

Steenhof et al. (2012) lista alguns benefícios energético-ambientais ao se utilizar a computação em nuvens, dentre os quais: (i) Redução do desperdício de recursos computacionais por meio de uma melhor adequação da capacidade real do servidor com a demanda atual; (ii) Redução em relação à carga de operação ao compartilhar a infraestrutura entre diversas organizações e usuários; (iii) Otimização das taxas de utilização dos servidores. Apesar de alguns serviços amplamente utilizados por usuários como Youtube, Flickr e webmails já operarem em nuvens, muitas empresas ainda não utilizam a computação em nuvens como ferramenta para atender suas necessidades de Tecnologia da Informação (TI). Para Lin e Chen (2012), isso se deve à visão de que a estrutura não está sendo controlada pela empresa, mas sim por fornecedores externos, impossibilitando que a empresa realize modificações quando necessário, além da questão da segurança e privacidade dos dados. Uma das soluções para contornar esse problema é a implantação de uma nuvem privada, cuja estrutura é operada exclusivamente por uma única organização.

Tecnologicamente e economicamente, o uso da computação das nuvens sugere ser mais atrativo, sendo considerado como uma tendência global (Lin e Chen, 2012). Por outro lado, esta tecnologia demanda muitos recursos materiais (máquinas e equipamentos) e grande quantidade de energia para resfriamento dos CPDs. Assim, a seguinte dúvida surge: a computação em nuvens possui menor custo ambiental comparado as estruturas tradicionais que não utilizam as técnicas de virtualização?

O objetivo deste trabalho é avaliar o custo ambiental de implantação e operação de um CPD tradicional, ou seja, um CPD que não utiliza técnicas de virtualização e nem serviços

hospedados em uma nuvem, e sua equivalente na computação em nuvens. Para isso, a Contabilidade Ambiental em Energia será utilizada como ferramenta para comparar os dois sistemas e indicar qual a melhor maneira de prover serviços de TI às instituições educacionais a um menor custo ambiental. Como objeto de estudo são consideradas a infraestrutura tradicional do Campus Inconfidentes (IFS) e a nuvem estabelecida na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

## **1.1 Metodologia**

### **1.1.1 Sistemas em análise**

Os dois sistemas avaliados tem como função principal fornecer serviços de Tecnologia da Informação (TI) aos seus usuários. Esses serviços contemplam basicamente sistemas acadêmicos, armazenamento de arquivos e serviços web.

#### **1.1.1.1 CPD tradicional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais**

Criado em 2008, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSDEMINAS) originou-se a partir da fusão das três antigas escolas agrotécnicas localizadas nas cidades de Machado, Muzambinho e Inconfidentes. O objetivo do Instituto é ampliar o acesso ao ensino profissionalizante nos 178 municípios de abrangência. Neste contexto, o campus Inconfidentes (IFS) assume importante papel, contabilizando mais de 4500 alunos matriculados, além de um corpo docente de aproximadamente 90 professores e mais de 150 técnicos administrativos. Para o funcionamento de importantes funções do Instituto, serviços de TI são necessários. Para isso, o CPD do IFS conta com uma equipe de profissionais qualificados, além de toda uma estrutura de equipamentos e sistemas de informação, totalizando 14 servidores de rede e equipamentos de interconexão e infraestrutura. Esses servidores são responsáveis por gerenciar e disponibilizar diversos serviços (armazenamento de arquivos, e-mail, Internet, sistema acadêmico, entre outros) aos usuários com elevada qualidade e disponibilidade. Atualmente, o CPD do IFS não possui servidores virtualizados ou serviços sendo executados nas nuvens.



### **1.1.1.2 Nuvem da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**

Fundada em 1966, a UNICAMP é formada por três campi (Campinas, Piracicaba e Limeira) e compreende 22 unidades de ensino e pesquisa. De acordo com o Anuário Estatístico de 2012 (AEPLAN, 2012), a UNICAMP possui aproximadamente 44519 alunos matriculados em cursos de graduação e pós-graduação, e 10019 servidores ativos, dos quais 2025 são professores/pesquisadores. Com foco no ensino e pesquisa, o acesso a recursos computacionais torna-se essencial. Para atender essa demanda, a UNICAMP conta com duas coordenações: i) Coordenadoria de Tecnologia de Informação e Comunicação (CTIC); ii) Centro de Computação (CCUEC), este último responsável pelos principais sistemas corporativos e pelo backbone da rede. Para atender as demandas administrativas e de ensino, o CCUEC estruturou uma nuvem de computadores que, trabalhando simultaneamente com o restante de sua infraestrutura de TI, tem como objetivo alocar de forma dinâmica os recursos computacionais, melhorando o desempenho dos serviços e reduzindo o consumo de energia. Atualmente, esta nuvem é composta por 14 lâminas que juntas virtualizam aproximadamente 137 máquinas em execução contínua. Essas máquinas respondem por diversos serviços, entre eles, o sistema acadêmico, os servidores web e o armazenamento de arquivos. Para operar esta grande estrutura, o CCUEC conta com 10 profissionais da área de TI, sendo que dois estão diretamente ligados à manutenção das máquinas virtuais que compõem a nuvem.

### **1.1.2 Emergia**

Segundo Odum (1996), emergia é a quantidade de energia disponível de um tipo utilizada direta ou indiretamente para produzir um serviço ou um produto. Sua unidade é o emjoule, que é o joule de energia solar. Essa metodologia objetiva contabilizar os recursos naturais e da economia empregados na produção de bens e serviços. Diferentemente de outras ferramentas, a síntese em emergia contabiliza os esforços do meio ambiente (irradiação solar, chuva, vento, água, combustíveis fósseis, solo, entre outros), sendo definida como memória energética. Para que um sistema seja avaliado por meio de síntese em emergia, Odum (1996) argumenta que todas as suas fontes externas de energia (incluindo-se material, mão de obra e informação) devem ser conhecidas e contabilizadas. Essas fontes são divididas em três categorias: (i) fontes locais renováveis da natureza (R); (ii) locais não renováveis da natureza (N); (iii) economia (F). Fontes de emergia externas são utilizadas pelo sistema e identificadas pelos fluxos de emergia. Cada fluxo possui uma intensidade emergética, cujo valor representa a qualidade de energia. Elevados valores de intensidade emergética indicam bens ou serviços

mais complexos, ou seja, exigem maior demanda de energia em seus processos e resultam em produtos de melhor qualidade. As intensidades emergéticas são oriundas de um processo de transformação de um tipo de energia em outro, desta maneira, a cada nova transformação mais energia é incorporada ao sistema, contribuindo assim para um produto mais elaborado e com maior qualidade. Identificando-se todos os fluxos de massa e energia que entram pelas fronteiras do sistema sob análise, é possível calcular a energia total deste sistema com auxílio das intensidades emergéticas. Informações adicionais sobre esta ferramenta podem ser encontradas em Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004). Para levantamento dos dados primários de energia, material, mão de obra e custos financeiros que fazem parte dos sistemas estudados nesse trabalho, foram realizadas visitas in loco nos dois CPDs avaliados.

### 1.1.3 Indicadores de desempenho dos CPDs

Após o tratamento dos dados primários, são calculados os indicadores de desempenho dos CPDs (outputs dos sistemas) para mostrar o potencial que as máquinas instaladas possuem em realizar alguma função específica – estes indicadores medem a força ou o poder que as máquinas possuem. Os indicadores de desempenho são importantes para estabelecer unidades funcionais de comparação dos resultados entre os dois sistemas analisados. Até o estágio atual de desenvolvimento desta pesquisa, aliada às dificuldades conceituais existentes no estabelecimento de unidades funcionais potencialmente mais representativas, foram consideradas aquelas descritas abaixo. Estas unidades funcionais são obtidas de literatura científica, mas principalmente de organizações especializadas no assunto, como a *Standard Performance Evaluation Corporation* (SPEC), que é uma organização sem fins lucrativos criada para estabelecer, manter e apoiar um conjunto padronizado de benchmarks relevantes que podem ser aplicados para a nova geração de computadores de alto desempenho. Os indicadores de desempenho dos CPDs utilizados nesse trabalho são:

**(a) Benchmarking:** Em computação, benchmarks são programas de computadores executados em um sistema permitindo a medida de alguma característica de interesse (Talebi, 2008). Quanto maior o valor obtido pelo benchmark, melhor é o desempenho do processador. Nesse trabalho, o benchmark é utilizado para medir o desempenho dos processadores utilizados nos CPDs estudados. Para isso, os valores publicados por CPU (2013) são considerados.

**(b) CINT2006:** Conjunto de testes desenvolvidos pelo SPEC que fornece um valor de desempenho para cada sistema computacional avaliado com base em operações de números inteiros. Neste trabalho, os valores de CINT2006 foram obtidos de SPEC (2013).

(c) **CFP2006:** Conjunto de testes desenvolvidos pelo SPEC que fornece um valor de desempenho para cada sistema computacional avaliado com base em operações de números de ponto flutuante. Neste trabalho, os valores de CFP2006 foram obtidos de SPEC (2013).

(d) **Número de usuários:** Mesmo não sendo reconhecido como um indicador de desempenho das máquinas dos CPDs, este indicador foi utilizado como uma medida indireta da capacidade atual no atendimento aos usuários. O número de usuários que acessam cada estrutura foi determinado *in loco*.

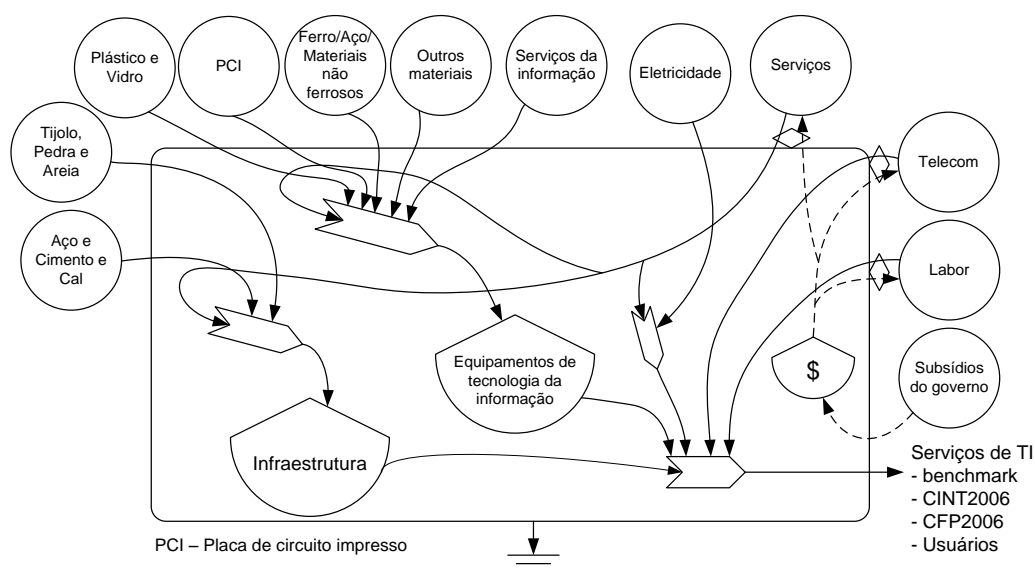
#### 1.1.4 Normalização

Os indicadores considerados neste trabalho para avaliar o desempenho emergético dos CPDs possuem diferentes unidades funcionais (como seJ/benchmark, seJ/CINT2006, entre outras), interferindo em uma avaliação integral de forma direta. Adicionalmente, interpretar os resultados de forma numérica absoluta pode resultar em leituras erradas ou de difícil compreensão. Sendo assim, uma forma mais amigável de visualizar os resultados é por meio de um gráfico em radar contendo todos os indicadores de desempenho ao mesmo tempo. Para isso, técnicas de normalização são indispensáveis. Ulgiati et al. (2011) sugerem três abordagens de normalização: (i) normalização com base no valor padrão; (ii) normalização com base no total de impacto gerado; (iii) normalização de acordo com o primeiro ano de investigação. No presente trabalho, a normalização com base no total de impacto gerado foi utilizada devido ao melhor ajuste aos dados obtidos. Para isso, o valor de cada indicador do sistema é dividido pela soma dos mesmos indicadores obtidos pelos dois sistemas (por exemplo,  $\text{seJ/SPEC}_{\text{IFS-normalizado}} = \text{seJ/SPEC}_{\text{IFS}} / (\text{seJ/SPEC}_{\text{IFS}} + \text{seJ/SPEC}_{\text{UNICAMP}})$ ).

#### 1.2 Resultados e Discussões

A Figura 1 mostra o diagrama sistêmico dos CPDs estudados. Como ambas são estruturas computacionais destinadas ao processamento de informação, o tipo de energia/material e fonte destes recursos que atravessam a fronteira dos dois sistemas são os mesmos, diferenciando-se apenas na quantidade utilizada por cada um deles. O diagrama é dividido internamente em duas partes principais, uma contendo o estoque de infraestrutura e o outro de equipamentos de tecnologia da informação. Os fluxos direcionados para o estoque de infraestrutura indicam os materiais/energia que compõem a estrutura física onde o CPD está localizado. Esses fluxos foram estimados com base na literatura (Carvalho, 2010), considerando a área real dos CPDs obtidos *in loco*. Os fluxos relacionados à composição dos materiais presentes nos equipamentos de tecnologia e informação foram estimados de acordo com o

relatório da *Environmental Protection Agency* (EPA, 2001), que contém a composição básica do lixo eletrônico. Ambos os sistemas necessitam de aporte financeiro, neste caso, tratando-se de entidades públicas (IFS e UNICAMP), a fonte do aporte financeiro é subsidiada pelo governo. Os fluxos monetários que atravessam a fronteira dos sistemas são responsáveis pelo pagamento dos serviços e da mão de obra utilizada. O uso do diagrama sistêmico é importante para ter uma visão ampla de todos os inputs necessários para o funcionamento dos sistemas, assim como verificar as relações de seus elementos internos. Geralmente, a última interação observada na Figura 1 (interação entre infraestrutura, equipamentos, mão de obra, telecomunicações e serviços) é contabilizada pela maioria das ferramentas de avaliação biofísica e econômica, mas por trás destes inputs existem uma série de outros suportando sua produção e manutenção que deveriam ser contabilizados. Neste sentido, a ferramenta síntese em emergia utilizada neste trabalho é capaz de contabilizar todos estes custos ocultos por meio das intensidades emergéticas, onde, segundo (Agostinho e Pereira, 2013) pode ser considerada como uma ferramenta mais robusta comparada às outras.



**Figura 1.** Diagrama sistêmico dos Centros de Processamento de Dados avaliados

A Tabela 1 mostra os fluxos de emergia que compõem o CPD do IFS, alcançando uma emergia total anual de  $3,39 \times 10^{17}$  seJ/ano. Desse total, percebe-se que a maior parte está relacionada aos custos de operação do sistema, que entre outros incluem o consumo de energia elétrica (aproximadamente 31%) e demanda de mão de obra (aproximadamente 22%). Assim, a redução da demanda de energia elétrica, seja pelo uso de técnicas de virtualização ou pelo uso de máquinas e equipamentos que consomem menos energia, ou que emitem menos calor e demandam menos energia para serem resfriadas pelo sistema de ar condicionado, poderia

resultar em um decréscimo significativo do total de energia utilizado pelo sistema. Outro fluxo expressivo são os serviços, com 43% da energia total. Este fluxo contabiliza o valor de mercado de todos os equipamentos que compõem o CPD, além do gasto financeiro em energia elétrica. O investimento prévio em pesquisa de inovação tecnológica para o desenvolvimento dos equipamentos está contabilizado de maneira indireta no item serviços. Esta abordagem foi considerada porque não foram encontradas informações específicas em literatura científica sobre estes custos reais. Os demais fluxos compõem os principais materiais empregados na fabricação dos equipamentos de TI e na infraestrutura do prédio, que somados correspondem a menos de 1% do total de energia empregado.

Analisando a nuvem da UNICAMP, percebe-se que a sua energia é da ordem de  $6,32 \times 10^{17}$  seJ/ano (Tabela 2). Este valor é aproximadamente 86% superior à demanda de energia do CPD do IFS. Pode-se notar que igualmente ao CPD do IFS, a nuvem da UNICAMP tem em sua operação a maior parte de energia empregada, alcançando 99%, onde 72% dos gastos estão relacionais aos serviços. Esses resultados corroboram com as afirmações de Marston et al. (2011), onde dois terços do orçamento de TI são gastos com rotinas de manutenção e equipes de apoio. Em valores absolutos, a nuvem da UNICAMP tem um fluxo de serviços três vezes superior ao do IFS. Considerando que neste estudo o valor dos serviços de operação está sendo utilizado para representar indiretamente os gastos com pesquisa e desenvolvimento dos equipamentos além dos gastos financeiros com energia elétrica, pode-se inferir que os equipamentos da nuvem da UNICAMP são mais modernos e demandaram mais tempo de pesquisa para seu desenvolvimento. Comparando os fluxos relacionados ao consumo de energia elétrica, tem-se uma pequena vantagem para a nuvem da UNICAMP,  $8,98 \times 10^{16}$  seJ/ano contra  $1,07 \times 10^{17}$  seJ/ano do IFS. Outro valor significativo encontrado para a nuvem da UNICAMP é o link de Internet, atingindo 8% do total de energia do sistema. Este valor é superior ao do IFS ( $5,10 \times 10^{16}$  seJ/ano contra  $8,50 \times 10^{15}$  seJ/ano) pois o mesmo está dimensionado para atender às demandas de todos os usuários da UNICAMP, independente se estão acessando informações na nuvem ou realizando pesquisas na Internet. Foi considerado o valor total do link, pois os dados estatísticos não informam a quantidade de link demandada pela nuvem.

**Tabela 1.** Avaliação em emergia do CPD tradicional do IFS

Nota	Item	Unidade	Quantidade	Intensidade emergética (seJ/Unid.)	Referência	Fluxo de emergia (seJ/ano)	%
<b>Infraestrutura</b>							
1	Cal	g	$5,32 \times 10^3$	$1,68 \times 10^9$	a	$8,94 \times 10^{12}$	<1%
2	Cimento	g	$7,67 \times 10^4$	$3,04 \times 10^9$	b	$2,33 \times 10^{14}$	<1%
3	Pedra	g	$1,77 \times 10^5$	$1,68 \times 10^9$	c	$2,98 \times 10^{14}$	<1%
4	Areia	g	$2,46 \times 10^5$	$1,68 \times 10^9$	a	$4,14 \times 10^{14}$	<1%
5	Tijolo	g	$8,21 \times 10^4$	$3,36 \times 10^9$	d	$2,76 \times 10^{14}$	<1%
6	Aço	g	$5,84 \times 10^3$	$3,16 \times 10^9$	d	$1,85 \times 10^{13}$	<1%
<b>Equipamentos (computadores, eletrônicos e telecomunicação)</b>							
7	Plásticos	g	$1,82 \times 10^4$	$9,68 \times 10^9$	d	$1,76 \times 10^{14}$	<1%
8	Ferro/Aço	g	$5,86 \times 10^4$	$3,16 \times 10^9$	d	$1,85 \times 10^{14}$	<1%
9	Vidro	g	$3,52 \times 10^3$	$2,77 \times 10^7$	d	$9,76 \times 10^{10}$	<1%
10	Placa de circuito impresso	g	$1,54 \times 10^4$	$3,00 \times 10^9$	e	$4,61 \times 10^{13}$	<1%
11	Chumbo	g	$6,95 \times 10^3$	$1,02 \times 10^{11}$	f	$7,92 \times 10^{14}$	<1%
12	Cobre	g	$7,35 \times 10^3$	$3,00 \times 10^9$	f	$2,20 \times 10^{13}$	<1%
13	Silício	g	$1,00 \times 10^3$	$1,80 \times 10^9$	i	$1,80 \times 10^{12}$	<1%
<b>Operação</b>							
14	Eletricidade	J	$5,78 \times 10^{11}$	$1,85 \times 10^5$	j	$1,07 \times 10^{17}$	31,5%
15	Mão de obra	h	$1,04 \times 10^4$	$7,21 \times 10^{12}$	h	$7,50 \times 10^{16}$	22,1%
16	Link de Internet	USD	$2,50 \times 10^3$	$3,40 \times 10^{12}$	g	$8,50 \times 10^{15}$	2,5%
17	Serviços	USD	$4,31 \times 10^4$	$3,40 \times 10^{12}$	g	$1,47 \times 10^{17}$	43,1%
<b>Emergia total anual do CPD do IFS</b>						$3,39 \times 10^{17}$	

Todas as intensidades de emergia não incluem mão de obra e serviços e estão no baseline de  $15,83 \times 10^{24}$  seJ/ano (Brown e Ulgiati, 2004). a) Gengyuan et al, 2011; b) Pulselli et al, 2008; c) Odum, 1996; d) Geng et al, 2010; e) Ulgiati e Brown, 2002; f) Ascione et al, 2009; g) NEAD, 2008; h) Agostinho et al, 2013, i) Cohen et al, 2007, j) Brown et al, 2002

**Tabela 2.** Avaliação em emergia da nuvem da UNICAMP

Nota	Item	Unidade	Quantidade	Intensidade emergética (seJ/Unid.)	Referência	Fluxo de emergia (seJ/ano)	%
<b>Infraestrutura</b>							
1	Cal	g	$2,99 \times 10^3$	$1,68 \times 10^9$	a	$5,03 \times 10^{12}$	<1%
2	Cimento	g	$4,31 \times 10^4$	$3,04 \times 10^9$	b	$1,31 \times 10^{14}$	<1%
3	Pedra	g	$9,98 \times 10^4$	$1,68 \times 10^9$	c	$1,68 \times 10^{14}$	<1%
4	Areia	g	$1,39 \times 10^5$	$1,68 \times 10^9$	a	$2,33 \times 10^{14}$	<1%
5	Tijolo	g	$4,62 \times 10^4$	$3,36 \times 10^9$	d	$1,55 \times 10^{14}$	<1%
6	Aço	g	$3,28 \times 10^3$	$3,16 \times 10^9$	d	$1,04 \times 10^{13}$	<1%
<b>Equipamentos (computadores, eletrônicos e telecomunicação)</b>							
7	Plásticos	g	$3,53 \times 10^4$	$9,68 \times 10^9$	d	$3,42 \times 10^{14}$	<1%
8	Ferro/Aço	g	$1,40 \times 10^5$	$3,16 \times 10^9$	d	$4,42 \times 10^{14}$	<1%
9	Vidro	g	$5,72 \times 10^3$	$2,77 \times 10^7$	d	$1,59 \times 10^{11}$	<1%
10	Placa de circuito impresso	g	$2,02 \times 10^4$	$3,00 \times 10^9$	e	$6,07 \times 10^{13}$	<1%
11	Chumbo	g	$1,54 \times 10^4$	$1,02 \times 10^{11}$	f	$1,57 \times 10^{15}$	<1%
12	Cobre	g	$1,51 \times 10^4$	$3,00 \times 10^9$	f	$4,54 \times 10^{13}$	<1%
13	Silício	g	$5,25 \times 10^4$	$1,80 \times 10^9$	i	$9,45 \times 10^{13}$	<1%
<b>Operação</b>							
14	Eletricidade	J	$4,86 \times 10^{11}$	$1,85 \times 10^5$	j	$8,98 \times 10^{16}$	14,2%
15	Mão de obra	h	$4,16 \times 10^3$	$7,21 \times 10^{12}$	h	$3,00 \times 10^{16}$	4,7%
16	Link de Internet	USD	$1,50 \times 10^4$	$3,40 \times 10^{12}$	g	$5,10 \times 10^{16}$	8,0%
17	Serviços	USD	$1,35 \times 10^5$	$3,40 \times 10^{12}$	g	$4,58 \times 10^{17}$	72,4%
<b>Emergia total anual da nuvem da UNICAMP</b>						$6,32 \times 10^{17}$	

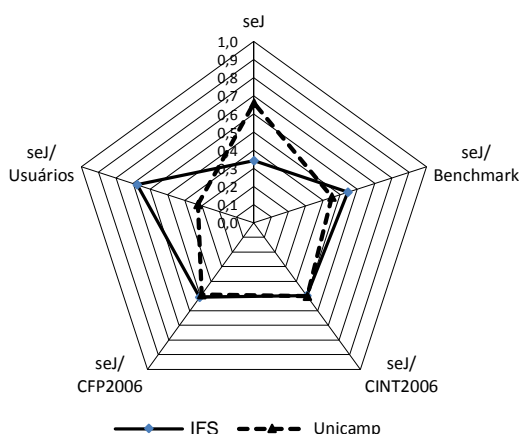
Todas as intensidades de emergia não incluem mão de obra e serviços e estão no baseline de  $15,83 \times 10^{24}$  seJ/ano (Brown e Ulgiati, 2004). a) Gengyuan et al, 2011; b) Pulselli et al, 2008; c) Odum, 1996; d) Geng et al, 2010; e) Ulgiati e Brown, 2002; f) Ascione et al, 2009; g) NEAD, 2008; h) Agostinho et al, 2013, i) Cohen et al, 2007, j) Brown et al, 2002

A Tabela 3 apresenta as unidades funcionais utilizadas para comparação dos sistemas estudados. O benchmark, CINT2006 e CFP2006 são indicadores de desempenho, enquanto Usuários fornece o número de usuários atendidos por cada uma das estruturas. Com base nesses indicadores, observa-se que a nuvem da UNICAMP possui um poder de processamento aproximadamente duas vezes superior ao do IFS. Além disso, o número de usuários atendidos por essa nuvem é superior ao do IFS em quatro vezes. Esse número é estimado com base no número de alunos e funcionários de cada instituição e nos serviços hospedados em cada CPD.

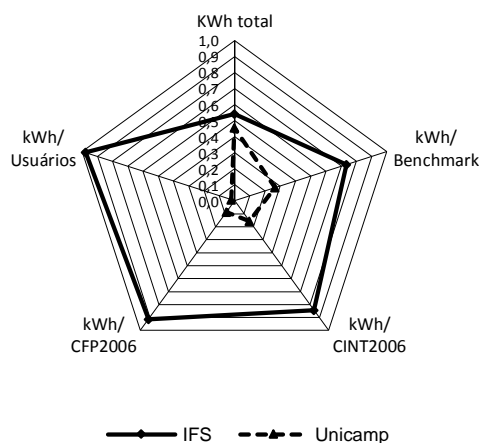
**Tabela 3.** Indicadores de desempenho dos CPDs

Indicadores	IFS	UNICAMP	Razão IFS/UNICAMP	Referência
Benchmark	34986	81620	0,43	CPU, 2013
CINT2006	263,94	508,70	0,52	SPEC, 2013
CFP2006	289,73	584,66	0,49	SPEC, 2013
Usuários	13200	53441	0,25	Dados obtidos <i>in loco</i>

Com base nos indicadores da Tabela 3 e nos valores totais de energia dos sistemas estudados (Tabelas 1 e 2), gráficos em radar são elaborados, permitindo analisar a eficiência dos dois sistemas. Este tipo de gráfico, contendo todos os indicadores calculados e normalizados, pode ser considerado a melhor forma de mostrar os resultados quando diferentes unidades funcionais são utilizadas. Neste trabalho, o gráfico foi elaborado de modo que, quanto maior a área, menor a eficiência do sistema. Pela Figura 2, percebe-se que a nuvem da UNICAMP demanda mais energia que o CPD do IFS, porém, analisando os outros indicadores, verifica-se que ela utiliza melhor os recursos empregados, ou seja, mesmo com um custo bruto ambiental superior, a estrutura de nuvens da UNICAMP consegue disponibilizar uma maior quantidade de processamento comparado à estrutura tradicional do IFS. Estes resultados indicam que a nuvem avaliada neste estudo pode ser considerada mais eficiente sob a ótica em energia do que um CPD tradicional.



**Figura 2.** Gráfico em radar com o desempenho anual em demanda de energia por unidade funcional



**Figura 3.** Gráfico em radar com o desempenho anual de consumo de eletricidade por unidade funcional

Usualmente, além da capacidade (força ou potência) dos equipamentos, o consumo de energia elétrica é considerado como o segundo item mais importante em projetos de CPD. Assim, paralelamente ao uso da contabilidade ambiental em energia, a Figura 3 considera o consumo direto de energia elétrica no numerador dos indicadores. No consumo total de kWh, as duas estruturas são praticamente equivalentes, porém, ao analisarmos os indicadores de desempenho (benchmark, CFP2006 e CINT2006) e o número de usuários atendidos, percebe-se uma grande vantagem da nuvem da UNICAMP sobre o CPD do IFS. Estes resultados estão alinhados aos obtidos por Steenhoff et al. (2012), onde a prática da virtualização é uma das técnicas utilizadas para melhorar a eficiência energética (consumo direto de energia elétrica), pois explora melhor a capacidade de processamento de um equipamento otimizando recursos computacionais.

Os resultados mostram que a nuvem da UNICAMP consome mais energia que o do IFS, porém, quando analisado isoladamente, este indicador não mostra o real desempenho dos sistemas porque não considera o benefício líquido obtido. Assim, considerando agora os indicadores de desempenho dos CPDs como benefícios, a relação custo/benefício indica que a nuvem possui certa vantagem comparada ao CPD tradicional. Desta forma, baseando-se nos indicadores calculados neste trabalho, a implementação ou a migração para serviços nas nuvens deveria ser incentivada.

É importante ressaltar que esse trabalho considerou CPDs cujas características são de fornecerem serviços acadêmicos aos seus usuários (professores, alunos e técnicos administrativos). Neste sentido, resultados diferentes podem ser obtidos quando avaliando CPDs que possuem outras finalidades, como por exemplo, aqueles utilizados para computação



científica que exigem grande quantidade de processamento, ou mesmo aqueles que trabalham com elevada demanda gráfica (desenhos e filmes).

### **1.3 Conclusões**

Considerando os sistemas analisados e as ferramentas utilizadas neste trabalho, conclui-se que:

- (a) Mesmo a nuvem da UNICAMP consumindo mais energia que o CPD do IFS, a sua utilização melhora consideravelmente o benefício líquido em energia.

Frente aos dois CPDs estudados e aos resultados obtidos, tem-se que a computação em nuvens consegue prover serviços de TI a um custo energético-ambiental menor. Desta forma, desconsiderando outros importantes aspectos relacionados à computação em nuvens (como por exemplo, a segurança dos dados e seu custo de implantação e operação), a implementação destes CPDs deve ser incentivada.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Paulista (UNIP). Agradecem, também, ao apoio técnico dos encarregados do CPD do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (campus Inconfidentes), e da Universidade Estadual de Campinas por meio do seu Centro de Computação (CCUEC).

## 1.4 Referências

- AEPLAN 2012. **A UNICAMP em números. Anuário Estatístico da UNICAMP de 2012.** [http://www.aeplan.UNICAMP.br/anuario\\_estatistico\\_2012/index\\_arquivos/marcador2012\\_port.pdf](http://www.aeplan.UNICAMP.br/anuario_estatistico_2012/index_arquivos/marcador2012_port.pdf) acessado em Fevereiro/2012.
- AGOSTINHO, F., PEREIRA, L., 2013. **Support area as an indicator of environmental load: Comparison between Embodied Energy, Ecological Footprint, and Emergy Accounting methods.** *Ecological Indicators*. 24, 494–503.
- ANEEL – **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2013. <http://www.aneel.gov.br/493.htm> acessado em Março/2013.
- ASCIONE, M., CAMPANELLA, L., CHERUBINI, F., ULGIATI, S., 2009. **Environmental driving forces of urban growth and development. An emergy-based assessment of the city of Rome, Italy.** *Landscape and Urban Planning* 93, 238–249
- BROWN, M. T., ULGIATI, S., 2004. **Emergy analysis and environmental accounting.** *Encyclopedia of Energy*, 2, 329–354
- BROWN, M.T., ULGIATI, S., 2002. **Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems.** *Journal of Cleaner Production*. 10, p. 321-334.
- BUYYA, R., YEO, C S., VENUGOPAL, S., BRANDIC, I., 2009. **Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility.** *Future Generation Computer Systems*. 25, 599-616
- CARVALHO, J. G. A. **Avaliação de uma construção utilizando a contabilidade ambiental em emergia.** 2010. 246 f. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Paulista, São Paulo, 2010.
- COHEN, M. J., SWEENEY S., BROWN, M.T., 2007. **Computing the Unit Emergy Value of Crustal Elements. EMERGY SYNTHESIS 4: Theory and Applications of the Emergy Methodology**, 16.1-16.12
- CPU BENCHMARK, 2013. <http://www.cpubenchmark.net/> acessado em Janeiro/2013
- EPA, 2001. **Waste from electrical and electronic equipment in Ireland: a status report.** Disponível em <<http://www.environ.ie/en/Publications/Environment/Waste/WEEE/FileDownload,1342,en.pdf>> Acessado em Outubro de 2012.
- GENG, Y., ZHANG, P., ULGIATI, S., SARKIS, J., 2010. **Emergy analysis for an industrial park: The case of Dalian, China.** *Science of the Total Environment*, 408, 5273-5283
- LIN, A., CHEN, N-C., 2012. **Cloud computing as an innovation: Percepation, attitude, and adoption.** *International Journal of Information Management*. 32, 533-540.
- LIU, G., YANG, Z., CHEN, B., ULGIATI, S., 2011. **Monitoring trends of urban development and environmental impact of Beijing, 1999–2006.** *Science of the Total Environment*, 409, 3295-3308
- MADHUBALA, R., 2012. **An Illustrative Study on Cloud Computing.** *International. Journal of Soft Computing and Engineering*. 1, 286-290
- MARSTON, S., ZHI, L., SUBHAJYOTI, B., JUHENG, Z., ANAND, G., 2011. **Cloud computing — the business perspective.** *Decision Support Systems*. 51, 176–189
- NEAD 2008. <http://www.cep.ees.ufl.edu/nead/data.php?country=20&year=360#> acessado em Janeiro/2013
- ODUM, H. T., 1996. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making.** Ed. John Wiley & Sons LTD, New York.
- PULSELLI, R.M., SIMONCINI, E., RIDOLFI, E., BASTIANONI, S., 2008. **Specific emergy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport.** *Ecological Indicators* 8, 647–656
- SINDUSCON-MG.[http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/cub/tabelas/tabela\\_cub\\_fevereiro\\_2013.pdf](http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/cub/tabelas/tabela_cub_fevereiro_2013.pdf) acessado em Março/2013.
- SPEC, Standard Performance Evaluation Corporation. <http://www.spec.org/> acessado em Dezembro/2012.

- STEENHOF, P., WEBERA, C., BROOKSB, M., SPENCEC, J., ROBINSONC, R., SIMMONDSD, R., KIDDED, C., AIKEMAD, D., SAVOIEE, M., HOE, B., LEMAYF, M., FUNGH, J., CHERIETG, M., 2012. **A protocol for quantifying the carbon reductions achieved through the provision of low or zero carbon ICT services.** Sustainable Computing: Informatics and Systems. 2, 23-32.
- TALEBI, M., 2008. **Computer power consumption benchmarking for green computing.** 2008. 70 f. Tese Master of Science - Department of Computing Sciences, Villanova University, Villanova, US. 2008.
- UDDIN, M., AZIZAH A. R., 2012. **Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers.** Renewable and Sustainable Energy. 16, 4078-4094.
- ULGIATI S., BROWN M.T., 2002. **Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions. The case of electricity production.** Journal of Cleaner Production, 10, 335–348.
- ULGIATI, S., ASCIONE, M., BARGIGLI, S., CHERUBINIC, F., FRANZESEA, P.P., RAUGEID, M., VIGLIA, S., ZUCAROA, A., 2011. **Material, energy and environmental performance of technological and social systems under a Life Cycle Assessment perspective.** Ecological Modelling. 222, 176–189
- VERAS, M., KASSICK, R., 2011. **Virtualização de Servidores.** Rio de Janeiro: RNP/ESR, 2011. 422 p.

## Apêndice A1: Memorial de cálculo da Tabela 1

Nota #1 (Cal) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 9,98 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 16 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de cal =  $(16 \times 9,98) / 30 \times 1000 = 5321$  g. Conversão: 1,68E+9. Fluxo de entrada = 8,94E+12

Nota #2 (Cimento) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 1,44E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 16 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de cimento =  $(16 \times 1,44 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 76671$  g. Conversão: 3,04E+9. Fluxo de entrada = 2,33E+14

Nota #3 (Pedra) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 3,33E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 16 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de pedra =  $(16 \times 3,33 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 177353$  g. Conversão: 1,68E+9. Fluxo de entrada = 2,98E+14

Nota #4 (Areia) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 4,62E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 16 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de areia =  $(16 \times 4,62 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 246476$  g. Conversão: 1,68E+9. Fluxo de entrada = 4,14E+14

Nota #5 (Tijolo) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 1,54E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 16 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de tijolo =  $(16 \times 1,54 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 82128$  g. Conversão: 3,36E+9. Fluxo de entrada = 2,76E+14

Nota #6 (Aço) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 1,09E+1 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 16 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de aço =  $(16 \times 1,09 \times 10^1) / 30 \times 1000 = 5839$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 1,85E+13

Nota #7 (Plástico)

Quantidade por computador: 30% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 173,82$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de plástico =  $(173,82 \times 1000) / 5 \times 30\% = 10429$  g. Conversão: 9,68E+9. Fluxo de entrada = 1,01E+14

Quantidade por equipamento: 9% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 355,6$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de plástico =  $(355,6 \times 1000) / 5 \times 9\% = 6401$  g. Conversão: 9,68E+9. Fluxo de entrada = 6,20E+13

Quantidade por equipamento: 74% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 9,31$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de plástico =  $(9,31 \times 1000) / 5 \times 74\% = 1378$  g. Conversão: 9,68E+9. Fluxo de entrada = 1,33E+13

Nota #8 (Ferro/Aço)

Quantidade por computador: 43% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 173,82$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de ferro/aço =  $(173,82 \times 1000) / 5 \times 43\% = 14949$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 4,72E+13

Quantidade por equipamento: 61% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 355,6$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de ferro/aço =  $(355,6 \times 1000) / 5 \times 61\% = 43383$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 1,37E+14

Quantidade por equipamento: 13% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 9,31$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de ferro/aço =  $(9,31 \times 1000) / 5 \times 13\% = 242$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 7,65E+11

Nota #9 (Vidro)

Quantidade por computador: 4% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 173,82$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de vidro =  $(173,82 \times 1000) / 5 \times 4\% = 1391$  g. Conversão: 2,77E+7. Fluxo de entrada = 3,85E+10

Quantidade por equipamento: 3% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 355,6$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de vidro =  $(355,6 \times 1000) / 5 \times 3\% = 2134$  g. Conversão: 2,77E+7. Fluxo de entrada = 5,91E+10

Nota #10 (Placa de circuito impresso)

Quantidade por computador: 3% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 173,82$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de PCI =  $(173,82 \times 1000) / 5 \times 3\% = 1043$  g. Conversão: 3,00E+9 (considerada a transformidade da fibra de vidro). Fluxo de entrada = 3,13E+12

Quantidade por equipamento: 20% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 355,6$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(355,6 \times 1000) / 5 \times 20\% = 14224$  g. Conversão: 3,00E+9 (considerada a transformidade da fibra de vidro). Fluxo de entrada = 4,27E+13

Quantidade por equipamento: 6% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 9,31$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(9,31 \times 1000) / 5 \times 20\% = 112$  g. Conversão: 3,00E+9 (considerada a transformidade da fibra de vidro). Fluxo de entrada = 3,35E+11

Nota #11 (Chumbo)

Quantidade por computador: 20% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 173,82$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(173,82 \times 1000) / 5 \times 20\% = 6953$  g. Conversão: 1,02E+11 (considerada a transformidade da fibra do chumbo). Fluxo de entrada = 7,09E+14

Nota #12 (Cobre)

Quantidade por equipamento: 7% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 355,6$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de não ferrosos =  $(355,6 \times 1000) / 5 \times 7\% = 4978$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 1,49E+13

Quantidade por equipamento: 7% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 9,31$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de não ferrosos =  $(9,31 \times 1000) / 5 \times 7\% = 130$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 3,91E+11

$\sum_{\text{metros}} = 60$  m. Peso do cabo: 0,04 kg/m. Quantidade =  $60 \times 0,04 \times 1000 = 2243$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 6,73E+12

Nota #13 (Silício – cabeamento de rede – fibra óptica)

$\sum_{\text{metros}} = 14$  m. Peso do cabo: 0,04 kg/m. Quantidade =  $13,33 \times 0,075 \times 1000 = 1000$  g. Conversão: 1,80E+9. Fluxo de entrada = 1,80E+12

Nota #14 (Eletricidade) –  $\sum_{\text{consumo}} = 18342$  W. Quantidade =  $(18342 \times 24 \times 365) \times 1 / 1000 \times 3600000 = 5,78 \times 10^{11}$  j. Conversão: 1,85E+5. Fluxo de entrada = 1,07E+17

Nota #15 (Mão de obra) –  $\sum_{\text{horas trabalhadas}} = 10400$  h (5 funcionários trabalhando 8 horas/dia por 260 dias). Conversão: 7,21E+12. Fluxo de entrada = 7,50E+16

Nota #16 (link de Internet) –  $\sum_{\text{valor pago/ano}} = 2500$  US\$. Conversão: 3,40E+12. Fluxo de entrada = 8,50E+15

Nota #17 (Serviços)

$\sum_{\text{valor\_equipamentos}} = 81188,45 \text{ USD}$ . Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(81188,45/5) = 16238 \text{ USD}$ . Conversão:  $3,40\text{E}+12$ . Fluxo de entrada =  $5,52\text{E}+16$ .  
 Área da sala:  $16 \text{ m}^2$ . Valor do CUB =  $507.60 \text{ USD}$ . Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade =  $(16*507.60)/30 = 271 \text{ USD}$ . Conversão:  $3,40\text{E}+12$ . Fluxo de entrada =  $9,20\text{E}+14$   
 $\sum_{\text{kwh/ano}} = 160675,92 \text{ kwh}$ . Valor do kWh em Minas Gerais:  $0,33090$  - sem impostos (ANEEL, 2013). Valor total: USD  $(160675,92*0,33090)/2 = 26583,83$ . Conversão:  $3,40\text{E}+12$ . Fluxo de entrada:  $9,04\text{E}+16$

## Apêndice A2: Memorial de cálculo da Tabela 2

Nota #1 (Cal) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 9,98 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 9 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de cal =  $(9 \times 9,98) / 30 \times 1000 = 2993$  g. Conversão: 1,68E+9. Fluxo de entrada = 5,03E+12

Nota #2 (Cimento) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 1,44E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 9 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de cimento =  $(9 \times 1,44 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 43128$  g. Conversão: 3,04E+9. Fluxo de entrada = 1,31E+14

Nota #3 (Pedra) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 3,33E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 9 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de pedra =  $(9 \times 3,33 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 99761$  g. Conversão: 1,68E+9. Fluxo de entrada = 1,68E+14

Nota #4 (Areia) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 4,62E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 9 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de areia =  $(9 \times 4,62 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 138643$  g. Conversão: 1,68E+9. Fluxo de entrada = 2,33E+14

Nota #5 (Tijolo) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 1,54E+2 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 9 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de tijolo =  $(9 \times 1,54 \times 10^2) / 30 \times 1000 = 46197$  g. Conversão: 3,36E+9. Fluxo de entrada = 1,55E+14

Nota #6 (Aço) – Quantidade por m<sup>2</sup>: 1,09E+1 g/m<sup>2</sup> (Carvalho, 2010). Metragem total da sala: 9 m<sup>2</sup>. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade de aço =  $(9 \times 1,09 \times 10^1) / 30 \times 1000 = 3284$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 1,04E+13

Nota #7 (Plástico)

Quantidade por computador: 30% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 386,16$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de plástico =  $(386,16 \times 1000) / 5 \times 30\% = 23170$  g. Conversão: 9,68E+9. Fluxo de entrada = 2,24E+14

Quantidade por equipamento: 9% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 439,1$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de plástico =  $(439,1 \times 1000) / 5 \times 9\% = 7904$  g. Conversão: 9,68E+9. Fluxo de entrada = 7,65E+13

Quantidade por equipamento: 74% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 28,48$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de plástico =  $(28,48 \times 1000) / 5 \times 74\% = 4215$  g. Conversão: 9,68E+9. Fluxo de entrada = 4,08E+13

Nota #8 (Ferro/Aço)

Quantidade por computador: 43% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 386,16$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de ferro/aço =  $(386,16 \times 1000) / 5 \times 43\% = 33210$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 1,05E+14

Quantidade por equipamento: 61% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 439,1$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de ferro/aço =  $(439,1 \times 1000) / 5 \times 61\% = 106070$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 3,35E+14.

Quantidade por equipamento: 13% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 28,48$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de ferro/aço =  $(28,48 \times 1000) / 5 \times 13\% = 740$  g. Conversão: 3,16E+9. Fluxo de entrada = 2,34E+12

Nota #9 (Vidro)

Quantidade por computador: 4% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 386,16$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de vidro =  $(386,16 \times 1000) / 5 \times 4\% = 3089$  g. Conversão: 2,77E+7. Fluxo de entrada = 8,56E+10

Quantidade por equipamento: 3% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 439,1$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de vidro =  $(439,1 \times 1000) / 5 \times 3\% = 2635$  g. Conversão: 2,77E+7. Fluxo de entrada = 7,30E+10

Nota #10 (Placa de circuito impresso)

Quantidade por computador: 3% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 386,16$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de PCI =  $(386,16 \times 1000) / 5 \times 3\% = 2317$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 6,95E+12

Quantidade por equipamento: 20% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 439,1$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(439,1 \times 1000) / 5 \times 20\% = 17564$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 5,27E+13

Quantidade por equipamento: 6% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 28,48$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(28,48 \times 1000) / 5 \times 20\% = 342$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 1,03E+12

Nota #11 (Chumbo)

Quantidade por computador: 20% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{computador}} = 386,16$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(386,16 \times 1000) / 5 \times 20\% = 15446$  g. Conversão: 1,02E+11. Fluxo de entrada = 1,58E+15

Nota #12 (Cobre)

Quantidade por equipamento: 7% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{eletrônicos}} = 439,1$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de não ferrosos =  $(439,1 \times 1000) / 5 \times 7\% = 6147$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 1,84E+13

Quantidade por equipamento: 7% (EPA, 2001).  $\sum_{\text{telecom}} = 28,48$  kg. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade de não ferrosos =  $(28,48 \times 1000) / 5 \times 7\% = 399$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 1,19E+12

$\sum_{\text{metros}} = 230$  m. Peso do cabo: 0,04 kg/m. Quantidade =  $230 \times 0,04 \times 1000 = 8597$  g. Conversão: 3,00E+9. Fluxo de entrada = 2,57E+13

Nota #13 (Silício – cabeamento de rede – fibra óptica)

$\sum_{\text{metros}} = 700$  m. Peso do cabo: 0,075 kg/m. Quantidade =  $700 \times 0,075 \times 1000 = 52500$  g. Conversão: 1,80E+9. Fluxo de entrada = 9,45E+13

Nota #14 (Eletricidade) –  $\sum_{\text{consumo}} = 15400$  W. Quantidade =  $(15400 \times 24 \times 365) \times 1 / 1000 \times 3600000 = 4,86 \times 10^{11}$  j. Conversão: 1,85E+5. Fluxo de entrada = 8,98E+16

Nota #15 (Mão de obra) –  $\sum_{\text{horas\_trabalhadas}} = 4160$  h (2 funcionários trabalhando 8 horas/dia por 260 dias). Conversão: 7,21E+12. Fluxo de entrada = 3,00E+16

Obs.: considerado apenas os funcionários que administram as máquinas virtuais

Nota #16 (link de Internet) –  $\sum_{\text{valor\_pagamento}} = 15000$  US\$. Conversão: 3,40E+12. Fluxo de entrada = 5,10E+16

Nota #17 (Serviços)

$\sum_{\text{valor\_equipamentos}} = 592691$  USD. Depreciação considerada: 5 anos. Quantidade =  $(592691.75 / 5) = 118538$  USD. Conversão: 3,40E+12. Fluxo de entrada = 4,03E+17.

Área da sala: 9 m<sup>2</sup>. Valor do CUB = 507.60 USD. Depreciação considerada: 30 anos. Quantidade =  $(9 \times 507.60) / 30 = 153$  USD. Conversão: 3,40E+12. Fluxo de entrada = 5,17E+14

$\sum_{\text{kwh/ano}} = 134904 \text{ kwh}$ . Valor do kWh em São Paulo: 0,23801 - sem impostos (ANEEL, 2013). Valor total: USD  $(134904 * 0,23801) / 2 = 16054,25$ . Conversão:  $3,40\text{E}+12$ . Fluxo de entrada:  $5,46\text{E}+16$

## Apêndice B – 2º artigo

### Computing the Unit Emergy Value of Computers – a first attempt

*André L.A. Di Salvo<sup>a</sup>, Feni Agostinho<sup>b</sup>*

*<sup>a</sup> Institute of Education, Science and Technology of Southern of Minas Gerais, Brazil,  
andre.amaral@ifsuldeminas.edu.br*

*<sup>b</sup> Post-graduation Program on Production Engineering, Paulista University (UNIP), São  
Paulo, Brazil, feniagostinho@gmail.com*

#### ABSTRACT

Dependence on computers has been sharply increasing during these past ten years mainly due to the availability of mobile computer types such as laptops, tablets, smartphones, and so on. Considering this trend of continuous high-tech progress, it is expected that more and more computers will be a permanent part of any human-made production system, mainly for those closely tied to Information Technology (IT) issues, i.e. systems located on the far right of a hierarchical chain. When identified, computers should be considered for an emergy evaluation, as they could play an important role in the systems “empower”. A computer’s Unit Emergy Value (UEV) is therefore fundamental for that purpose. In this sense, this work aims at a first attempt to estimate a computer’s UEV. A sample of ten selected average computers is used, and the uncertainties related to parameters values are assessed under a Monte Carlo simulation. Results show that while the estimated computer’s UEV accounting for services input is  $1.6\text{E}+12$  seJ/g<sub>computer</sub> and  $3.1\text{E}+5$  seJ/FLOPS (Floating-point operations per second), their counterparts without services are  $8.9\text{E}+10$  seJ/g<sub>computer</sub> and  $1.7\text{E}+4$  seJ/FLOPS. This huge difference related to services input highlights the fact that the “embodied information” in the computers production (for example, technology, knowhow, research, specialized personal involved, etc) is more significant (>90%) in the computer’s “empower” than the input materials.

**Key-words:** computer UEV; Emergy; Monte Carlo analysis.

#### 1. INTRODUCTION

The presence of computers and computer-based/operated gadgets in organizational and home environments has been experiencing exponential increase since the introduction of the first affordable and user-friendly Personal Computer in 1981. Included in the on-growing list are the modern tablets and smartphones, the amount of which, according to [Gartner \(2013\)](#), should increase by some figure around 6% worldwide in 2013 alone. In absolute figures, this means that 2.35 billion pieces of equipment are to be found in companies and homes, and an



estimated 305 million of those are personal desktop and laptop units. Such figures considered, as well as the continuous technological advances in the field of Information Technology (e.g., internet and cloud computing), it is difficult - if not impossible - to even imagine production systems operating without the aid of information systems. Computers are used throughout the process, from spreadsheet and text elaboration to mathematical simulations, communication and mechatronic-related tasks.

Among other purposes, the emergy methodology (Odum, 1996) has been more and more utilized in the assessment of production systems - whichever they are - through comparison with alternatives. This is mandatory in a scenario of searching for higher sustainability under a global scale and from the donor's point of view. Realizing the increasing presence of computers in whichever systems undergoing assessment - especially those located further to the right in a hierarchical scale, based upon information technology -, the influence of computers flowing into the system boundaries and consequently on emergy results is higher and higher, calling for a precise account. In systems where computers exert little influence when compared to other system inflows (e.g. in Yang et al, 2013), the precision of the results is not effectively influenced by one's randomly selecting one or other Unit Emergy Value (UEV) for the computers. On the other hand, in systems in which they are highly representative, such as in Almeida and coworker's (2010) study (around 22% of total emergy), results can be highly influenced.

Computer accounting is usually either based on its weight in mass units ( $2.26\text{E}11 \text{ seJ/g}$ ; Almeida et al, 2013), or accounted as computer “units” ( $5.77\text{E}14 \text{ seJ/unit}$ ; Yang et al, 2013); such values, however, are estimates put forward by the analyst, based upon other previously published UEV's. Mass accounting may not be an adequate procedure as the computers from the 1990's, for example, apart from their lower processing capacity, are bulkier and heavier (higher mass) than the current models. In other words, such approach implicitly assumes that the emergy of those obsolete machines is higher than that of current models, which contradicts the current reality of technological advancements resulting from large economical investments on materials innovation and on personnel – the latter being carriers of high emergy information – involved in the research work necessary to technologically improve them. The same comment applies for accounting computers as “units”, as the current computers demanded more emergy to be improved and produced than their predecessors did. At this point, the following question rises up: What is the most suitable UEV for a computer?

This work is a first attempt in the search for a proper UEV for computers, avoiding rough estimatives that could have a strong effect on emergy synthesis involving computers as important system inflows. For this first attempt, aware as we are of the existence of a wide range of models and set-ups for computers in the market, a sample of ten laptops was considered for the calculation procedure. Emergy results are presented under two different functional units: (i) weight in mass; (ii) processing capacity measured in Floating-point Operations per Second (FLOPS).

## 2. METHODOLOGY

### 2.1. Data source

Computers are made up of several electronic components made up of different materials. Precise data about computer material contents are rarely found in literature. Additionally, due to the inherent complexities – i.e., usually, a single industry is not in charge of the whole process involved in the computers chain production – and the industrial secrets involved in the computers production, it was not possible to obtain raw data *in situ*. Trying to overcome these barriers, in this study the MCC Technical Report published by [Pedersen et al, 1996](#) (see Appendix B1) is used as source for raw data for materials used in an average computer structure.

Regarding the sample of laptops considered in this study, models were selected considering the following operational limitations: (i) the availability of computers; (ii) all samples must feature an Intel® processor and Windows® 8 as its operational system – the reasons for the above are described in the next section. The features of the laptops considered in this work are presented in Table 1.

Table 1. Description of laptops sample considered in the calculation procedure.

Item	Manufac- turer	Model	Processor	Weight (g)	Billion FLOPS	Market value <sup>a</sup> (USD)
#1	ASUS	K43E	Core I5-2410	2,440	17.40	1,163
#2	ASUS	X45C	Core I3	2,440	7.02	673
#3	ASUS	X44C	Intel Pentium	2,440	14.38	444
#4	Compaq	CQ43	Core I5-2410	2,200	14.91	758
#5	Dell	Inspiron 14R-910	Core I5-480M	2,300	9.58	893
#6	HP	Envy Pro	Core I5-3317U	1,630	16.91	812
#7	HP	HP 1000-1460BR	Core I5-3230M	2,950	16.85	852
#8	HP	HP Pavilion dv4	Core I5-2410	2,220	14.75	893
#9	HP	Envy 4-1130	Core I3	1,750	13.48	1,346
#10	Lenovo	Ultrabook Z400	IdealPad Core I5	2,000	15.43	1,118

<sup>a</sup> Market prices obtained from a selection of e-commerce websites; money ratio of 2.23 BRL/USD

## 2.2. Functional unit: floating-point operations per second (FLOPS)

Units able to show the robustness and/or processing capacity of computers could be considered as a better alternative than mass and/or “computer units” as functional units. Considering all measure units available in scientific and technological literature (for instance, benchmarks, MIPS, among others), the Floating-point Operations per Second (FLOPS) is suggested as the most appropriate as, under a common sense in the computers technological world, it is being used to classify the 500 faster computers worldwide (<http://www.top500.org>).

FLOPS is considered as a critical measure of computing power and speed. Even admitting that FLOPS directly relates to high performance computing (e.g., running complex mathematical models like those for weather reports), such unit is taken into consideration in this study due to its recognized importance as a supercomputers' performance measure.

During the data-collection phase for Table 1, it was verified through initial testings that the amount of FLOPS is not directly associated to the processor, but to the computational system as a whole, including circuit cards, electronic devices, available memory, operational system being used and, mainly, the system's operation load at the time the test is run. Thus, establishing the following test pattern to estimate the amount of FLOPS of the sample computers became necessary: (i) the Linpack freeware made available by Intel (<http://software.intel.com/en-us/articles/intel-math-kernel-library-linpack-download>), was used for estimating the computers' FLOPS; (ii) the following parameters were set in the system entry file: Number of tests = 1, Problem sizes = 20,000 (from equation  $\sqrt{((\text{total memory} - 20\%)/8)}$ ), Leading dimensions = 20,000, Times to run a test = 3, and Alignment values = 4; (iii) all tests were performed with the laptops plugged into their AC adaptors; (iv) the whole sampler pack feature Windows 8 as their operational system (OS); (v) the tests were run immediately after rebooting the OS.

## 2.2. Emergy accounting

Emergy accounting definitions, meanings, calculation procedures and case studies are presented by Odum (1996), Brown and Ulgiati (2004), among others, and by several publications in the emergy systems website (<http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/index.shtml>). The use of emergy accounting as a scientific measure for decision making is being spread worldwide by the scientific community, due to its methodology robustness and effectiveness under a systemic and donor-side approach. Besides supplying indicators regarding

sustainability issues, emergy is being more and more considered as a managerial tool rather than one only for diagnosis.

Unlike large amounts of papers that have used the regular set of emergy indicators for sustainability assessment (for instance, EYR, EIR, ELR, and so on), this work aims to estimate the Unit Emergy Value (UEV) of computers. Due to a large amount of recent papers focusing on case studies whose boundaries lie far away from the natural and agricultural systems, computers have been more and more accounted as an input resource in emergy evaluations, thus emphasizing the importance of a proper computer UEV estimation.

An average computer's UEV is estimated in this work by considering the FLOPS and the computer's weight in mass as functional units, thus the final UEV is measured in solar emjoules per FLOPS (seJ/FLOPS) and per gram (seJ/g). Results are shown including and not including Services inputs; in this work, services represent the computer market price. The standardized emergy baseline of  $15.83 \cdot 10^{24}$  seJ/yr is considered throughout this paper. The work of [Cohen et al. \(2007\)](#) is the source of UEVs for the input materials in computer production (Appendix B1).

### **2.3. Uncertainty in the computer's UEV estimation: Monte Carlo simulation**

Recognizing the inherent uncertainties embodied within any biophysical approach – including emergy accounting, life cycle assessment, a.o. –, and aiming to make emergy accounting even more accepted and used by the scientific community, the use of uncertainty analyses has been increasing sharply in emergy evaluations; different approaches have been taken into consideration, such as the stochastic ([Ingwersen, 2010](#); [Brown et al., 2011](#); [Hudson and Tilley, 2013](#)), analytical ([Li et al., 2011](#)), and fuzzy-based ([Reza et al., 2013](#)) ones. Among other potential framework definitions of uncertainty, the one used by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) seems to be the most adequate for emergy studies. Such framework includes uncertainties from three different sources: parameter, scenario, and model (details in [Ingwersen, 2010](#)).

Parameter uncertainty is the only one considered in this work, even recognizing that all the other ones could be present. Hence, the stochastic method of Monte Carlo analysis was used, by generating random numbers from a range previously determined on a Probabilistic Distribution Function (PDF). So far, there has not been an accepted rule regarding the best PDF representing parameter values in emergy evaluations ([Hudson and Tilley, 2013](#)), therefore, the uniform PDF as suggested by [Hayha et al. \(2011\)](#) was considered in this work.

A value of 10,000 interaction was considered in this present work as, rather than using commercial statistical softwares that usually demand high computational power and cost, the Monte Carlo Simulation was performed through a free-of-charge Microsoft Excel® add-in developed by Barreto and Howland (2006).

Figure 1 shows the schematic algorithm for the calculation procedures considered in this work. Four parameter values were simulated under a Monte Carlo analysis: (i) weight in mass of the selected computers (from 1,630 to 2,950 g; Table 1), reflecting directly on the materials amount going into the computer production; (ii) market value of computer (from 444 to 1,346 USD); (iii) UEV of materials input (a range of  $\pm 25\%$  on the crustal elements UEV published by Cohen et al., 2007). A single source of UEV was considered in this work, and in order to apply the Monte Carlo simulation, the values varied by  $\pm 25\%$ , as applied by Brown et al., 2011. However, Cohen et al. (2007) recognize that their values present some uncertainties such as the lack of available data for Ore Grade Cutoff (OGC), the assumption that all mined materials are mineral rather than elemental ores, and that crustal elements UEV are linearly related to ore body enrichment from background concentrations. In this sense, considering the  $\pm 25\%$  range applied by Brown et al., 2011. (iv) computer FLOPS (from 7.02 to 17.40 billion FLOPS).

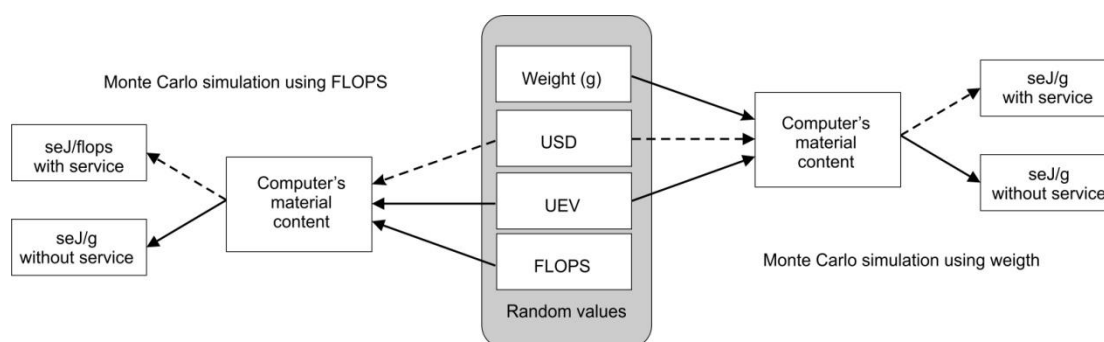


Figure 1. Schematic algorithm used for the calculation procedure.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The energy diagram of computer production represented by Figure 2 shows that besides regular inputs of material, labor, and electricity, this system has information as another important input. Information here is assumed as representative of all technology involved in computer production, having demanded years of research efforts by scientists and technical staff - with high transformity - and high amounts of economic investment. As pointed before,

raw data were not obtained *in situ*, thus, it was not possible to account for some energy/material inflows in the calculation procedure, i.e. all the energy required for infra-structure, the direct electricity used in the production, and also the specialized labor input; all of them are represented by gray symbols in Figure 2. Aiming to surpass such operational barrier, instead of including the physical amount (i.e., J and g) of these inputs and their respective market values (i.e., USD/J, USD/g) – which is the regular procedure of an emergy synthesis –, the market value of computers was assumed as representative of all these input flows, including materials, energy, specialized labor, “information”, as well as the industry profit. This accounting approach could lead to uncertainty in the results, however, it may be considered as the first further detailed study attempt so far, concerning a computer’s UEV.

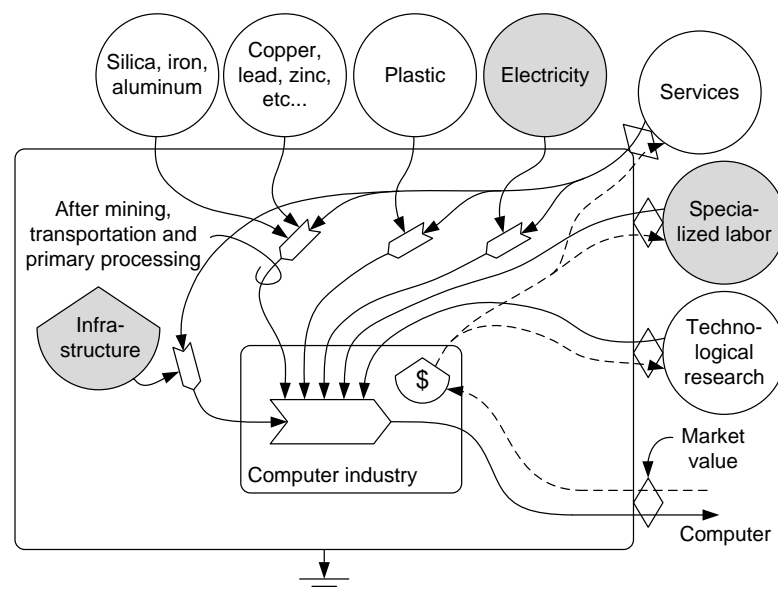


Figure 2. Energy diagram of a computer production system. Grey symbols indicate flows indirectly accounted as services.

Awareness of all the existing uncertainties in this work, mainly those related to input primary data and their UEVs, led to a sensibility analysis which was carried out with the aid of Monte Carlo analysis. The resulting graphs for the two simulations are shown by Figures 3 and 4. Only the seJ/FLOPS unit is graphed due to the fact that the seJ/g unit would result in a similar behavior. The most perceived aspect in the first graph is the representativeness of “services” input, ranging from 90% to 97% of total emergy. Such was already expected because, as represented in the energy diagram on Figure 2, the highest energy amount of a computer industry comes from specialized labor and knowledge (information) rather than from physical materials and energy. This is especially true for systems demanding and/or producing high-tech

goods, located far away from the natural systems in the extreme right-side of a hierarchical energy chain. Disregarding the “services” input, Figure 4 shows that Lead is the most representative material (from 26% to 42% of total emergy), followed by Bismuth (from 17% to 29%), Tin (from 14% to 25%), and Copper (from 5% to 10%).

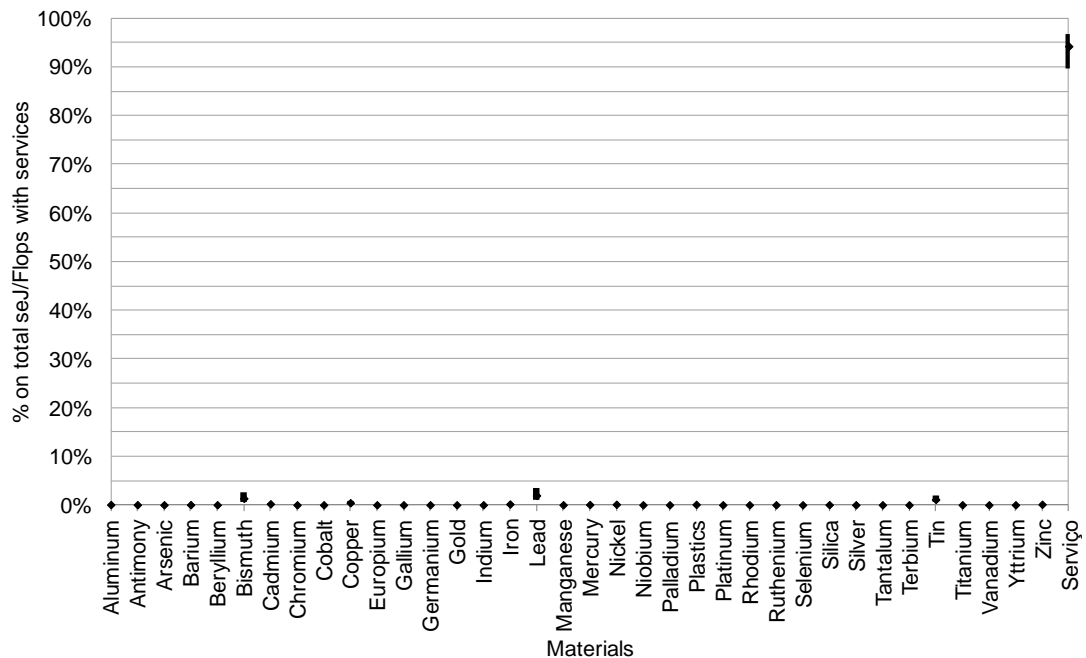


Figure 3. Sensibility analysis of system resource inputs for seJ/FLOPS including services input. Assumptions: uniform probability distribution function with 100 interactions for Monte Carlo analysis.

After thoroughly checking and re-checking all primary data and their UEVs under the sensibility analysis, the final Monte Carlo simulation (Appendix B2) was performed and resulted in the average values for a computer’s UEV shown on Table 2. The differences between “g” and “FLOPS” values are evident, as are the differences between the UEVs for the “with services” and “without services” scenario simulations under the same functional unit. The standard deviation obtained indicates that the precision fared by simulation #2 is the best one of the four ones analyzed, in which simulations #3 and #4 are at the same time closer and the worst ones. The higher standard deviation for FLOPS units is due to the large variation on FLOPS units verified among the samplers (Table 1), while the range of weight in grams of computers is smaller. This is an important aspect, for while the weight of computers sample is similar, their processing power is different. This implies in that computers emergy from materials content is quite similar, but the emergy from technology (information) is different. At

this point, the first insight emerges: Should FLOPS be used to better represent a computer's UEV rather than their weight in mass units?

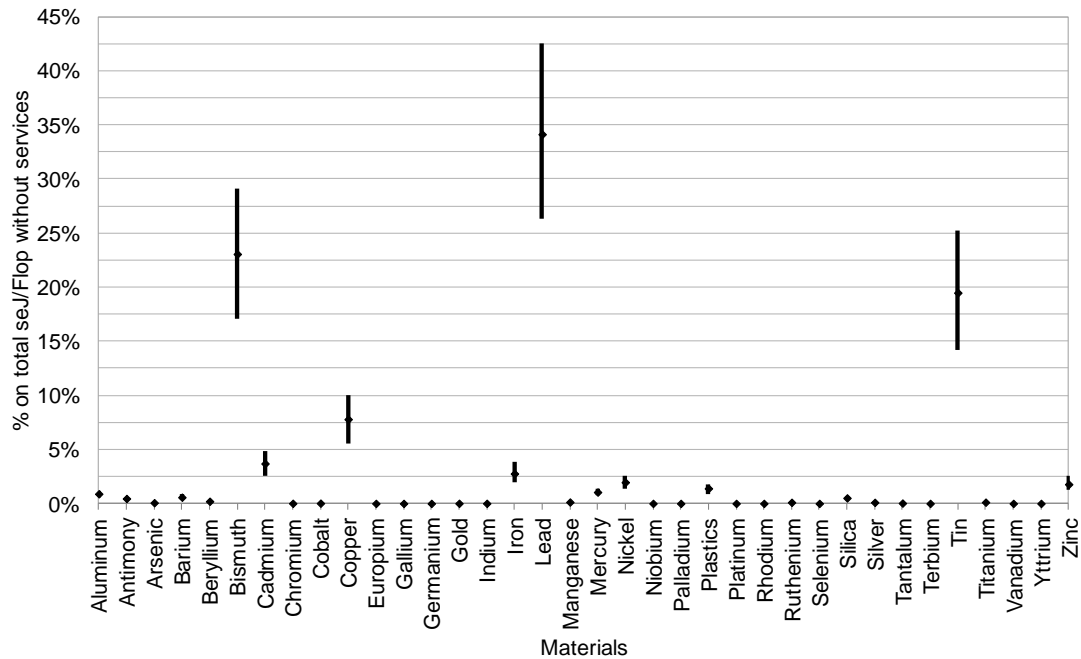


Figure 4. Sensibility analysis of system resource inputs for seJ/FLOPS without services input. Assumptions: uniform probability distribution function with 100 interactions for Monte Carlo analysis.

Table 2. Computer's UEV obtained through Monte Carlo simulation.

Simulation	Average values ( $\mu$ ) <sup>a</sup>	Unit	Standard deviation ( $\sigma$ )	Observation
#1	1.6±0.2 E12	seJ/g	24 %	with services
#2	8.9±0.4 E10	seJ/g	7 %	without services
#3	3.1±0.6 E05	seJ/FLOPS	34 %	with services
#4	1.7±0.4 E04	seJ/FLOPS	33 %	without services

<sup>a</sup> Confidence interval of 95% calculated as  $\mu \pm 1.96 * \sigma / (\text{sample size})^{1/2}$

The UEVs range size obtained is related to the confidence interval of 95% considered in this work. This means that, considering the same premises assumed for this work, any other computer UEV calculation has 95% of probability to be within the range obtained herein.

As already represented by Figure 3, services input – the reader must bear in mind that services, in this work, represent the computer's market price – is worth over 90% of the total computer's emergy, thus, accounting computers by its market price could be a valid first attempt when applying emergy synthesis. This could be considered a better estimative than other rough estimates and/or assumptions. This remark raises the second insight about the application of



emergy synthesis on those systems with high dependence on computer inputs: Can the accounting of computers as monetary flows be considered as a good estimative?

Figure 5 shows the emergy of the individual units presented at Table 1. The graph provides some interesting information, if analyzed under different aspects:

- (i) when using the calculated computer's UEV "without services" (Table 2), there is a non significant difference by either considering grams or FLOPS as the functional unit (from 1.2 to 2.9 E14 seJ) compared to a simulation in which computers' UEV "with services" is used (from 22.1 to 54.8 E14 seJ); this means that the functional unit is not so important when using computer's UEV "without service", because the emergy of a computer's power capacity is represented indirectly by the market price (services) instead of by the amount of materials used for computer construction;
- (ii) as expected, using computers' UEV "with services" results in an at least tenfold higher emergy of computers than the "without services" UEV; of course, such figure is peculiar of Brazil because of its specific emergy per money ratio (3.4E12 seJ/yr). In more developed countries such difference will be lower, whereas it will be higher for the underdeveloped ones.
- (iii) through a dynamic view, it can be verified that, when using the "in grams with service" UEV, increasing the computer's market price causes a slight decrease in the computer's emergy; on the other hand, a slight increase is also observed when using the "in FLOPS with service" UEV; this implies that market price relates more to the computers power capacity rather than to computers weight – an obvious aspect under a common sense –, also, it is in accordance with that higher power capacity relates more to research development (information) rather than materials consumption, and causes it to fall again on the previous second suggested insight.

Emergy evaluations featuring computer inflows in their analysis are rarely found in scientific literature. Aiming to show the influence of using the computer's UEV estimated herein on published works, we were able to find only two related papers: (i) Almeida et al. (2013), who assessed the emergy of a university campus and the emergy embodied in the information received by undergraduate students of an engineering programme in Brazil; (ii) Yang et al. (2013), who used emergy synthesis to study a wind power system in China. While the former accounted computers in using an UEV of 2.26E11 seJ/g (value borrowed from Cohen and coworker's paper in *Agri. Eco. & Env.*, 2006, 114, 249-269), the latter used an UEV

of  $5.77\text{E}14$  seJ/computer (value borrowed from a Chinese PhD dissertation). By considering the UEV estimated in this work according to simulation #1, the original influence of 22% for computers in [Almeida and coworkers \(2013\)](#) paper increases to 67%, while for the [Yang and coworkers \(2013\)](#) paper, the original influence of  $<0.01\%$  moves up to  $0.02\%$  - insignificant, in this case.

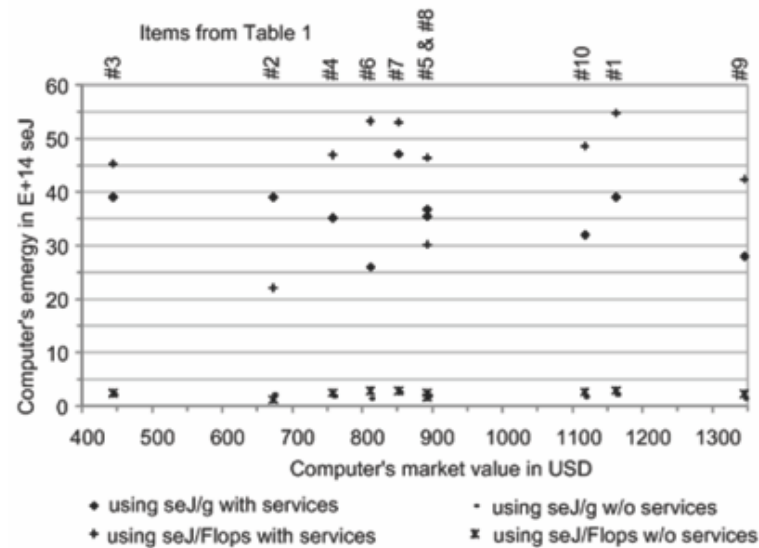


Figure 5. Emergy of a ten-computer sample calculated by using the four unit energy values obtained in this work.

It is recognized that systems with high dependence on computer inflows will exert higher influence on the total emergy related to such material input than systems with no/scarcely use of computers will. This is particularly valid for systems related to Information Technology activities like, for instance, data centers and other computational clusters (like Google®). This paper represents the first milestone of a more complex study under development by the authors, in which traditional data centers are being assessed and compared against cloud computing, the latter being labeled as greener.

Although attempting to be extremely careful in obtaining primary data and their UEVs, as well as while performing the Monte Carlo simulation, authors recognize that results presented here can be considered as a first attempt to deeper assessments. The main identified weak points and potential uncertainties of this work can be listed as: (i) one single report ([Pedersen et al., 1996](#)) on computers' material content was considered for all computer used as case study; (ii) one single reference for UEVs was considered ([Cohen et al., 2007](#)), claiming for new published values; notwithstanding, these UEV represent the crustal elements in their

natural form, disregarding the emergy of mining, transportation, and processing; (iii) a small sample of laptop computers was considered; (iv) the computer's market price is assumed as representative of all “information” embodied in the computer, disregarding the fact that in defining a product's market price, the company must take the consumer's willingness to pay into consideration; (v) there are potential uncertainties related to the PDF assumed in the Monte Carlo analysis; (vi) all material input was considered as non-renewable, i.e. their rate of use within the current window view is faster than their natural replacement time; thus, there is no double accounting in the applied emergy synthesis; (vii) the FLOPS unit is highly dependent on the computer's operational system and on the system's load at the moment it is being measured. This explains why a standardized procedure for measuring FLOPS is considered here. Different procedures could lead to different values; (viii) measuring FLOPS is not practical because it is a necessary to run the software in every computer.

#### **4. CONCLUSIONS**

According to the approaches, data source and assumptions considered in this work, the following conclusions can be reached:

- a) Considering the computer's mass as a functional unit, the suggested unit emergy value is  $1.6\text{E}12$  seJ/g (with services) and  $8.9\text{E}10$  seJ/g (without services);
- b) Considering the computer's power capacity as a functional unit, the suggested unit emergy value is  $3.1\text{E}05$  seJ/FLOPS (with services) and  $1.7\text{E}04$  seJ/FLOPS (without services);
- c) As expected, services input – represented in this work as the market price of computers – contributes from 90% to 97% of the total computer emergy, independently of the adopted functional unit. Thus, in the lack of a computer's UEV for an emergy synthesis study, to calculate it from its market value multiplied by the adequate emergy per money ratio (seJ/USD) could be a good alternative. However, this approach could be interesting only for systems with few computers input, and carefully used for systems that highly (significantly) depend on computers as inputs.

#### **ACKNOWLEDGEMENTS**

Authors are grateful for the financial support from Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, and to Vice-Reitoria de Pós-graduação da Universidade Paulista (UNIP). Thanks also to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the M.Sc. scholarship granted to the first author and the travel assistance (AEX 1271-41/3) to the second author. The effort of José Hugo de Oliveira in the English version revision is also acknowledged.

## REFERENCES

- ALMEIDA, C.M.V.B., SANTOS, A.P.Z., BONILLA, S.H., GIANETTI, B.F., HUISINGH, D., 2013. **The roles, perspectives and limitations of environmental accounting in higher educational institutions: an emergy synthesis study of the engineering programme at the Paulista University in Brazil.** *Journal of Cleaner Production* 52, 380-391.
- BARRETO, H., HOWLAND, F., 2006. **Introductory Econometrics: using Monte Carlo with Microsoft Excel.** Cambridge University Press. Excel add-in available at <<http://www3.wabash.edu/econometrics/index.htm>>. Accessed on 20<sup>th</sup> august 2013.
- BROWN, M.T., PROTANO, G., ULGIATI, S., 2011. **Assessing geobiosphere work of generating global reserves of coal, crude oil, and natural gas.** *Ecological Modelling* 222, 879-887
- BROWN, M.T., ULGIATI, S., 2004. **Emergy analysis and environmental accounting.** *Encyclopedia of Energy* 2, 329-354.
- BURANAKARN, V., 1998. **Evaluation of recycling and reuse of building materials using the emergy analysis method.** PhD. thesis, University of Florida, Gainesville, USA.
- COHEN, M.J., SWEENEY, S., BROWN, M.T., 2007. **Computing the unit emergy value of crustal elements.** In: Brown et al. (editors), *Proceedings from the fourth biennial emergy conference*, Gainesville, Florida. Available at <<http://www.ccp.ees.ufl.edu/emergy/conferences/index.shtml>>. Accessed on September 30<sup>th</sup>, 2013.
- GARTNER, 2013. **Gartner Says Worldwide PC, Tablet and Mobile Phone Shipments to Grow 5.9 Percent in 2013 as Anytime-Anywhere-Computing Drives Buyer Behavior.** Available at <<http://www.gartner.com/newsroom/id/2525515>>. Accessed on 10th September 2013.
- HAYHA, T., FRANZESE, P.P., ULGIATI, S., 2011. **Economic and environmental performance of electricity production in Finland: a multicriteria assessment framework.** *Ecological Modelling* 223, 81-90
- HUDSON, A., TILLEY, D.R., 2013. **Assessment of uncertainty in emergy evaluations using Monte Carlo simulations.** *Ecological Modelling*, doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.05.018.
- INGWERSEN, W.W., 2010. **Uncertainty characterization for emergy values.** *Ecological Modelling* 221, 445-452.
- INTEL. Linpack. Available at <<http://software.intel.com/en-us/articles/intel-math-kernel-library-linpack-download>>. Accessed on 10<sup>th</sup> November 2013
- LI, L., LU, H., CAMPBELL, D.E., REN, H., 2011. **Methods for estimating the uncertainty in emergy table-form models.** *Ecological Modelling* 222, 2615-2622.
- ODUM, H.T. 1996. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making.** John Wiley and Sons. New York.
- PEDERSEN et al., 1996. **Electronics Industry Environmental Roadmap.** Available at <<http://www.ce.cmu.edu/GreenDesign/compsec/eier96roadmap.pdf>>. Accessed on 3<sup>rd</sup> July 2013.
- REZA, B., SADIQ, R., HEWAGE, K., 2013. **A fuzzy-based approach for characterization of uncertainties in emergy synthesis: an example of paved road system.** *Journal of Cleaner Production* 59, 99-110.
- YANG, Q., CHEN, G.Q., LIAO, S., ZHAO, Y.H., PENG, H.W., CHEN, H.P., 2013. **Environmental sustainability of wind power: an emergy analysis of a Chinese wind farm.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 229-239.

**APPENDIX B1. The first 36 main materials found in a computer**

Material	% <sup>a</sup> in mass	UEV <sup>b</sup> in seJ/g	Material	% <sup>a</sup> in mass	UEV <sup>b</sup> in seJ/g
Silica	24.8803	1.80E+09	Bismuth	0.0063	3.20E+14
Plastics	22.9907	9.86E+09	Chromium	0.0063	1.50E+11
Iron	20.4712	1.20E+10	Mercury	0.0022	4.20E+13
Aluminum	14.1723	5.40E+09	Germanium	0.0016	not available
Copper	6.9287	9.80E+10	Gold	0.0016	5.00E+11
Lead	6.2988	4.80E+11	Indium	0.0016	4.03E+11
Zinc	2.2046	7.20E+10	Ruthenium	0.0016	5.57E+12
Tin	1.0078	1.70E+12	Selenium	0.0016	not available
Nickel	0.8503	2.00E+11	Arsenic	0.0013	4.56E+12
Titanium	0.1570	6.40E+10	Gallium	0.0013	1.77E+10
Barium	0.0315	1.59E+12	Palladium	0.0003	1.20E+11
Manganese	0.0315	3.50E+11	Europium	0.0002	not available
Silver	0.0189	4.50E+11	Niobium	0.0002	4.20E+11
Beryllium	0.0157	1.10E+12	Vanadium	0.0002	7.22E+10
Cobalt	0.0157	1.30E+11	Yttrium	0.0002	1.43E+10
Tantalum	0.0157	1.70E+11	Platinum	<0.0000	3.70E+11
Antimony	0.0094	4.20E+12	Rhodium	<0.0000	1.20E+12
Cadmium	0.0094	3.40E+13	Terbium	<0.0000	not available

<sup>a</sup> Pedersen et al., 1996; <sup>b</sup> Cohen et al. (2007) except for plastic that comes from Buranakarn (1998).

## APPENDIX B2. Monte Carlo simulation results

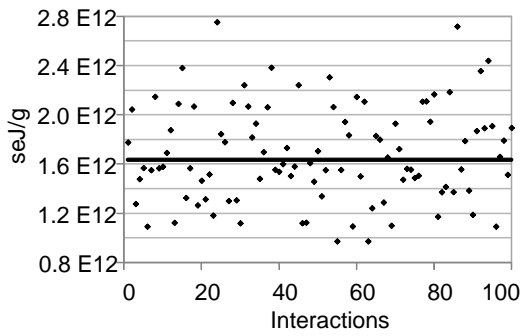


Figure B.1. Computer's UEV in seJ/g with services. Average of 1.6E12 seJ/g; standard deviation of 0.20E12 seJ/g; 100 interactions; uniform probability distribution function.

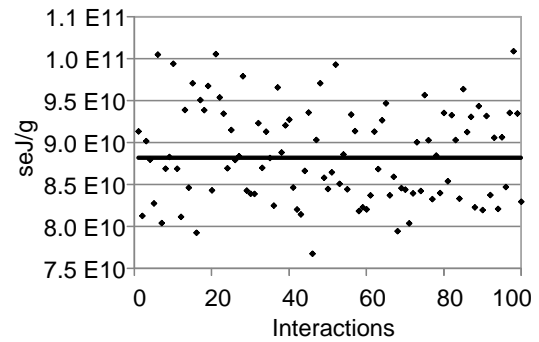


Figure B.2. Computer's UEV in seJ/g without services. Average of 8.9E10 seJ/g; standard deviation of 0.4E10 seJ/g; 100 interactions; uniform probability distribution function.

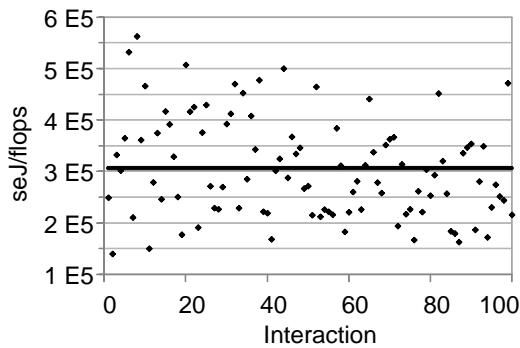


Figure B.3. Computer's UEV in seJ/FLOPS with services. Average of 3.1E5 seJ/FLOPS; standard deviation of 0.6E5 seJ/FLOPS; 100 interactions; uniform probability distribution function.

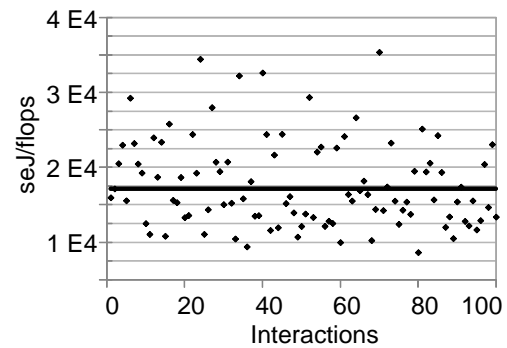


Figure B.4. Computer's UEV in seJ/FLOPS without services. Average of 1.7E4 seJ/FLOPS; standard deviation of 0.4E4 seJ/FLOPS; 100 interactions; uniform probability distribution function.

### Apêndice C. Memorial de cálculo do Legado (Tabela 8 – página 39)

Item #1 (cal) – Quantidade = 9,98 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área construída por DC = 16,66 m<sup>2</sup>; Número de DC = 144; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 798,40 kg ano<sup>-1</sup>

Item #2 (Cimento) – Quantidade = 144 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área construída por DC= 16,66 m<sup>2</sup>; Número de DC = 144; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 11.520 kg ano<sup>-1</sup>

Item #3 (Pedra) – Quantidade = 333 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área construída por DC= 16,66 m<sup>2</sup>; Número de DC = 144; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 26.640 kg ano<sup>-1</sup>

Item #4 (Areia) – Quantidade = 462 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área construída por DC= 16,66 m<sup>2</sup>; Número de DC = 144; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 36.960 kg ano<sup>-1</sup>

Item #5 (Tijolo) – Quantidade = 154 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área construída por DC= 16,66 m<sup>2</sup>; Número de DC = 144; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 12.320 kg ano<sup>-1</sup>

Item #6 (Aço) – Quantidade = 10,9 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área construída por DC= 16,66 m<sup>2</sup>; Número de DC = 144; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 872 kg ano<sup>-1</sup>

Item #7 (Computadores) – Computadores aqui se referem aos servidores; Quantidade = 1.425 servidores (dados coletados *in loco*) – quantidade total nos 144 DCs; Massa média considerada para cada servidor, com base em dados disponíveis no mercado = 23.000 g computador<sup>-1</sup>; Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (computadores) (g computador<sup>-1</sup>) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 6.555.000,00 g ano<sup>-1</sup>

Item #8 (Plástico) – Porcentagem de plástico presente em equipamentos eletrônicos = 30% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos 144 DCs= 6.094,5 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 366 kg ano<sup>-1</sup>

Item #9 (Aço) – Porcentagem de aço presente em equipamentos eletrônicos = 43% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos 144 DCs= 6.094,5 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 524 kg ano<sup>-1</sup>

Item #10 (Vidro) – Porcentagem de vidro presente em equipamentos eletrônicos = 4% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos 144 DCs= 6.094,5 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 48 kg ano<sup>-1</sup>

Item #11 (Cobre) – Porcentagem de cobre presente em equipamentos eletrônicos = 3% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos 144 DCs= 6.094,5 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 36 kg ano<sup>-1</sup>

- Item #12 (Placa de circuito) – Porcentagem de placa de circuito presente em equipamentos eletrônicos = 20% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos 144 DCs= 6.094,5 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (20%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 244 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #13 (Plástico) – Porcentagem de plástico presente em equipamentos de telecomunicações (Telecom) = 74% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos 144 DCs= 1.376 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 204 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #14 (Aço) – Porcentagem de aço presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 13% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos 144 DCs= 1.376 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 35,8 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #15 (Cobre) – Porcentagem de cobre presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 7% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos 144 DCs= 1.376 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 19,3 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #16 (Placa de circuito) – Porcentagem de placa de circuito presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 6% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos 144 DCs= 1.376 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 16,5 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #17 (Aço) – Quantidade (considerada unidade externa de refrigeração e geradores de energia) = 23.880 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (aço) (g aço<sup>-1</sup>) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 4776 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #18 (Eletricidade) – Potência total consumida incluindo computadores, equipamentos eletrônicos e de telecomunicações = 740 kW (dados coletados *in loco*); Potência total consumida de refrigeração (assumindo aparelhos de ar-condicionado de 24.000 BTUs – baseado na quantidade de equipamentos presentes no DC) = 348 kW; Todos os equipamentos são essenciais ao DC, permanecendo ligados 24h/dia durante 365 dias; Conversão = (kW) (h day<sup>-1</sup>) (day ano<sup>-1</sup>) (3.600.000 J kWh<sup>-1</sup>); Fluxo de entrada = 3,43 10<sup>13</sup> J ano<sup>-1</sup>
- Item #19 (Mão de obra) – Equipe técnica necessária para manutenção do Legado = 576 pessoas (144 de nível superior e 432 com nível técnico; dados coletados *in loco*); Salário anual nível superior = 32.424 \$; Salário anual nível técnico = 17.232 \$ (DRH (2014)); Conversão = ((144 pessoas) \*(17,232 \$)) + ((432 pessoas) \*(32.424 \$)); Fluxo de entrada = 12.113.280 \$ ano<sup>-1</sup>
- Item #20 (Serviços infraestrutura) – Quantidade = 588,35 \$/m<sup>2</sup> (Sinduscon, 2013); Área construída por DC = 16,6 m<sup>2</sup>; Número de DC =; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (\$ m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 47.068 \$ ano<sup>-1</sup>
- Item #21 (Custo de aquisição) – Quantidade = 6.327.674 \$ (dados obtidos de acordo com valores de mercado baseado nas configurações estimadas dos equipamentos presentes no Legado); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (\$) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 1.265.535 \$ ano<sup>-1</sup>



Item #22 (Eletricidade) – Quantidade = 9.530.880 kWh ano<sup>-1</sup> (baseado no Item #18); Custo por kWh = 0,10 \$ (ANEEL, 2013); Conversão = (kWh ano<sup>-1</sup>) (\$ kWh<sup>-1</sup>); Fluxo de entrada = 953.088 \$ ano<sup>-1</sup>

## Apêndice D. Memorial de cálculo da *CloudUSP* (Tabela 9 – página 41)

DC1 – *Data Center* localizado em São Paulo – SP; DC2 – *Data Center backup* localizado em Barueri-SP

Item #1 (cal) – Quantidade = 9,98 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área total construída = 296 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> DC1 e 176 m<sup>2</sup> DC2); Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 98,45 kg ano<sup>-1</sup>

Item #2 (Cimento) – Quantidade = 144 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área total construída = 296 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> DC1 e 176 m<sup>2</sup> DC2); Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 1.420 kg ano<sup>-1</sup>

Item #3 (Pedra) – Quantidade = 333 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área total construída = 296 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> DC1 e 176 m<sup>2</sup> DC2); Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 3.285 kg ano<sup>-1</sup>

Item #4 (Areia) – Quantidade = 462 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área total construída = 296 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> DC1 e 176 m<sup>2</sup> DC2); Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 4.558 kg ano<sup>-1</sup>

Item #5 (Tijolo) – Quantidade = 154 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área total construída = 296 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> DC1 e 176 m<sup>2</sup> DC2); Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 1.519 kg ano<sup>-1</sup>

Item #6 (Aço) – Quantidade = 10,9 kg/m<sup>2</sup> (CARVALHO, 2010); Área total construída = 296 m<sup>2</sup> (120 m<sup>2</sup> DC1 e 176 m<sup>2</sup> DC2); Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (kg m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 107,55 kg ano<sup>-1</sup>

Item #7 (Computadores) – Computadores aqui se referem aos servidores; Quantidade = 512 servidores (dados coletados *in loco*) – DC1 + DC2; Massa média considerada para cada servidor (dados do fabricante) = 8.160 g computador<sup>-1</sup>; Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (computadores) (g computador<sup>-1</sup>) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 835.584,00 g ano<sup>-1</sup>

Item #8 (Plástico) – Porcentagem de plástico presente em equipamentos eletrônicos = 30% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos DC1 e DC2 = 12.995,8 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 780 kg ano<sup>-1</sup>

Item #9 (Aço) – Porcentagem de aço presente em equipamentos eletrônicos = 43% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos DC1 e DC2 = 12.995,8 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 1.118 kg ano<sup>-1</sup>

Item #10 (Vidro) – Porcentagem de vidro presente em equipamentos eletrônicos = 4% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos DC1 e DC2 = 12.995,8 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 104 kg ano<sup>-1</sup>

- Item #11 (Cobre) – Porcentagem de cobre presente em equipamentos eletrônicos = 3% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos DC1 e DC2 = 12.995,8 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 78 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #12 (Placa de circuito) – Porcentagem de placa de circuito presente em equipamentos eletrônicos = 20% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos eletrônicos presente nos DC1 e DC2 = 12.995,8 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (20%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 520 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #13 (Plástico) – Porcentagem de plástico presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 74% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos DC1 e DC2 = 1.208 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 179 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #14 (Aço) – Porcentagem de aço presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 13% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos DC1 e DC2 = 1.208 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 31 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #15 (Cobre) – Porcentagem de cobre presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 7% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos DC1 e DC2 = 1.208 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 17 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #16 (Placa de circuito) – Porcentagem de placa de circuito presente em equipamentos de telecomunicações (telecom) = 6% (EPA, 2001); Massa total de equipamentos de telecomunicações presente nos DC1 e DC2 = 1.208 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (%) (kg) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 14 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #17 (Aço) – Quantidade (considerada unidade interna e externa de refrigeração + racks que armazenam os servidores Blade) = 19.486 kg (dados coletados *in loco*); Vida útil considerada = 10 anos; Conversão = (aço) (g aço<sup>-1</sup>) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 3897,2 kg ano<sup>-1</sup>
- Item #18 (Eletricidade) – Potência total consumida incluindo computadores, equipamentos eletrônicos e de telecomunicações = 340 kW (dados coletados *in loco*); Potência total consumida de refrigeração (assumindo chiller com 50 tr – baseado na carga térmica dos servidores) = 340 kW; Todos os equipamentos são essenciais ao DC, permanecendo ligados 24h/dia durante 365 dias; Conversão = (kW) (h day<sup>-1</sup>) (day ano<sup>-1</sup>) (3.600.000 J kWh<sup>-1</sup>); Fluxo de entrada = 2,14 10<sup>13</sup> J ano<sup>-1</sup>
- Item #19 (Mão de obra) – Equipe técnica necessária para manutenção do Legado = 48 pessoas (16 de nível superior e 32 com nível técnico; dados coletados *in loco*); Salário anual nível superior = 32.424 \$; Salário anual nível técnico = 17.232 \$ (DRH (2014)); Conversão = ((144 pessoas) \*(17,232 \$)) + ((432 pessoas) \*(32.424 \$)); Fluxo de entrada = 1.070.208 \$ ano<sup>-1</sup>

Item #20 (Serviços infraestrutura) – Quantidade = 588,35 \$/m<sup>2</sup> (SINDUSCON, 2013); Área construída por DC = 296 m<sup>2</sup>; Número de DC =; Vida útil considerada = 30 anos; Conversão = (\$ m<sup>-2</sup>) (m<sup>2</sup> DC<sup>-1</sup>) (DC) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 5805 \$ ano<sup>-1</sup>

Item #21 (Custo de aquisição) – Quantidade = 42.444.821 \$ (dados obtidos de acordo com valores de mercado baseado nas configurações estimadas dos equipamentos presentes no Legado); Vida útil considerada = 5 anos; Conversão = (\$) (ano)<sup>-1</sup>; Fluxo de entrada = 8.488.964 \$ ano<sup>-1</sup>

Item #22 (Eletricidade) – Quantidade = 5.956.800 kWh ano<sup>-1</sup> (baseado no Item #18); Custo por kWh = 0,10 \$ (ANEEL, 2013); Conversão = (kWh ano<sup>-1</sup>) (\$ kWh<sup>-1</sup>); Fluxo de entrada = 595.680 \$ ano<sup>-1</sup>