

# CONCEPÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM APLICADA AO CENÁRIO IFCE VIRTUAL

TIBÉRIO B. SOARES, RÉGIA TALINA SILVA ARAÚJO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Diretoria de Educação a Distância  
<tbezerrasoares@gmail.com>, <talinaregia@gmail.com>

DOI: 10.21439/conexoes.v10i3.736

**Resumo.** Esse artigo apresenta uma investigação sobre o cenário do IFCE virtual em uma estrutura de computação em nuvem em relação à atual estrutura do IFCE virtual. Descrevemos as vantagens e as desvantagem das duas estruturas. Para fazer esse comparativo, serão utilizados dados reais do sistema atual aplicados via simulação em um Ambiente Virtual de Aprendizagem que possui suporte de computação em nuvem. A partir dessa simulação, serão observados o balanceamento de carga, a tolerância à falha, entre outras característica, a fim de detalhar os benefícios e desvantagens de cada uma dessas estruturas. Espera-se que esses dados possam ajudar na decisão de viabilidade e planejamento a longo prazo em relação à estrutura de TI para os cursos ofertados a distância do IFCE.

**Palavras-chaves:** Computação em Nuvem, Tolerância à Falha, Balanceamento de Carga, Ambiente Virtual de Aprendizagem.

**Abstract.** This article presents an investigation of scenario of a structure in IFCE virtual cloud computing comparing with current structure of the virtual IFCE. We describe the advantages and disadvantage of the two structures. To make this comparison will use real data from the current system applied via simulation in a Virtual Learning Environment that supports cloud computing. From this simulation will be observed, load balancing, fault tolerance, among other characteristics, in order to detail the benefits and disadvantages of each of these structures. It is hoped that these data can help in deciding the feasibility and long-term planning in relation to the IT infrastructure for the courses offered at distance IFCE.

**Keywords:** Cloud Computing, Fault Tolerance, Load Balancing, Virtual Learning Environment.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente as instituições de ensino superior, principalmente as que ofertam ensino na modalidade a distância, são fortemente dependentes da tecnologia para manter a qualidade de seus cursos e serviços frente à demanda exponencial de alunos nessa modalidade de ensino. Toma-se como exemplo destas instituições no Ceará: o Instituto Federal do Ceará, Universidade Federal do Ceará e a Universidade Estadual do Ceará.

Para atender à demanda, estas organizações precisam de computadores interligados em rede e conectados à Internet ininterruptamente, processando os programas computacionais necessários para atender seus objetivos. Um exemplo desses programas computacionais são os ambientes virtuais de aprendizagem. Esses ambientes servem como sala de aula virtual, neles encontram-se conteúdos de aulas, objetos de aprendizagem (OAs) diversos, atividades e recursos síncronos e

assíncronos tudo disponível para auxiliar os alunos no processo ensino-aprendizagem.

Segundo Nunes e Prass (2012), os ambientes virtuais têm como objetivo o suporte às atividades mediadas pelas tecnologias de informação e comunicação. Além disso, esses sistemas servem como suporte para complementar as atividades realizadas em sala de aula, auxiliando a criar interações entre alunos e professores que ultrapassam o ambiente presencial como, por exemplo, a realização de tarefas e a apresentação dos conteúdos de forma organizada.

Os servidores que hospedam o ambiente virtual de aprendizagem, bem como o seu banco de dados, devem ficar ligados sem interrupção, vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana, recebendo, transmitindo e armazenando informação. Assim, esta infraestrutura de hardware e software precisa ser mantida funcionando ininterruptamente, de forma regulada, monitorada, in-

tegrada, otimizada e protegida.

Com base neste contexto, esse artigo apresenta o resultado de um estudo da organização da estrutura de TI (Tecnologia da Informação) do IFCE Virtual adotada atualmente para suportar todas as ações necessárias à oferta de cursos a distância pelo Instituto Federal do Ceará. Além disso, neste trabalho investiga-se também uma estrutura de TI a partir de técnicas de computação em nuvem, pontuando os benefícios e desvantagem dos dois cenários.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 é apresentada a fundamentação teórica explorando os temas em estudo nesse artigo, quais sejam, sistemas distribuídos em um contexto da educação a distância (EaD) e computação em nuvem. A Seção 3 discute o método utilizado para realizar a investigação, o estudo proposto, a descrição das diversas etapas utilizadas e discussão de alguns resultados. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção 4.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SISTEMAS DISTRIBUIDOS E A EaD

De acordo com Sunyé et al. (2014), sistemas distribuídos estão se tornando cada vez mais comum, por consequência da crescente popularidade de aplicações *peer-to-peer* (P2P) ou computação em nuvem. Apesar de seu crescente uso, iniciaremos essa seção com a seguinte pergunta: o que são Sistemas Distribuídos (SDs) e por que utilizá-los na EaD?

Segundo Colouris et al. (2012), um sistema distribuído é definido como sendo aquele no qual componentes de *hardware* ou *software*, localizados em computadores interligados em rede, se comunicam e coordenam suas ações apenas enviando mensagens entre si. Tanenbaum e Steen (2007) acrescentam ainda que um SD deve ser aberto, apresentar possibilidade de expansão e oferecer fácil acesso a seus recursos ocultando razoavelmente bem o fato de que tais recursos estão distribuídos em uma rede.

Antes de estudar a importância de empregar SDs no suporte aos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs), vamos analisar algumas características dessas plataformas que estão disponíveis na literatura.

Segundo Saito e Ulbricht (2012), os AVAs, chamados de ambientes de ensino e aprendizagem (AVEA), *Learning Management System* (LMS), ou *Virtual Learning Environment* (VLE), são espaços virtuais que foram desenvolvidos inicialmente com o intuito de auxiliar a educação a distância. Esses ambientes, além de oferecer suporte para os alunos, devem estar disponí-

veis para o resto da equipe técnica, para que essa equipe possa otimizar o ambiente, gerenciar contas com diferentes perfis, inserir aulas diagramadas, habilitar ferramentas síncronas e assíncronas, ou seja, preparar o ambiente de aprendizagem. Este ambiente deverá estar disponível para uso pelos alunos independente de onde estejam localizados geograficamente e com serviços síncronos e assíncronos, e recursos como webaula e tarefas, por exemplo, disponíveis ininterruptamente de forma segura.

A partir da descrição exposta por Saito e Ulbricht (2012) e da definição de SD apresentada por Colouris et al. (2012) e Tanenbaum e Steen (2007), podemos estudar a importância de se aplicar técnicas de distribuição em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. Algumas características de sistemas distribuídos como, por exemplo, facilidade de acesso a seus recursos; sensação do usuário em estar sendo utilizada apenas um único sistema computacional; possibilidade de crescimento sem precisar de desligamento ou reinicializações; técnicas e estudos consistentes quanto à replicação de dados e tolerância a falhas disponíveis na literatura são de grande importância na tentativa de amenizar problemas comuns no dia-a-dia de ambientes de aprendizagem. Dentre esses problemas típicos dos AVAs, destacam-se, por exemplo, a indisponibilidade do sistema em eventuais situações de problema ou manutenção e desempenho insatisfatório relativo à velocidade de acesso à Internet. Metodologias de replicação de dados e tolerância a falhas podem, por exemplo, ajudar em tais problemas, ajudando a prover um sistema com segurança, maior disponibilidade e desempenho de acesso necessário a uma aprendizagem satisfatória do aluno.

Algumas características de SDs já são implementadas pelo sistema atual do IFCE Virtual, tais como, acesso a recursos, transparência, escalabilidade, porém a característica de Replicação, Tolerância a Falhas e, por consequência, à consistência dos dados necessitam melhorar. Assim, sentiu-se a necessidade de estudarmos outras propostas de arquitetura de sistema para suportar os ambientes virtuais e seus bancos de dados. Na próxima seção, será abordado uma aplicação de sistemas distribuídos, a computação em nuvem.

### 2.2 COMPUTAÇÃO EM NUVEM (CN)

Segundo Colouris et al. (2012) o termo computação em nuvem pode ser descrito como um conjunto de serviços que estão disponíveis para o usuário a partir do uso da internet. Esses serviços estão relacionados geralmente com armazenamento e processamento de dados e são capazes de suportar as necessidades do usuário, ao ponto de que o usuário seja capaz de dispensar, uma

parte ou totalmente, o armazenamento e o uso de aplicações locais.

Já Paredes e Zorzo (2012) relatam que o ambiente de computação em nuvem permite a prestação de serviços e facilita tarefas, proporcionado infraestruturas de fácil acesso e disponibilidade dos recursos para atender às necessidades dos usuários.

De acordo com Katsaros et al. (2011), a computação em nuvem é definida como uma tendência recente em tecnologia da informação e de rede que tem o potencial de mudar radicalmente a forma como os serviços de computador são desenvolvidos, gerenciados e entregues. Os elementos-chaves que alicerçam o surgimento da computação em nuvem incluem o excesso de capacidade de grandes centros de dados corporativos de hoje, a presença marcante de banda larga e rede sem fio, o custo de armazenamento diminuindo e melhorias progressivas em tecnologias de rede. Assim, a computação em nuvem abre novas perspectivas com profundas implicações na área de redes de comunicação, levantando novas questões em sua arquitetura, design e implementação.

Na literatura, a computação em nuvem se divide em modelos com relação a serviços oferecidos e a forma de como esses serviços são disponibilizados para os usuários.

Mell e Grance (2011) definem a computação em nuvem como um modelo para permitir acesso de rede ubíquo, conveniente e sob demanda a um repositório compartilhado de recursos computacionais (como por exemplo, redes, servidores, armazenamentos, aplicações e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços. Esses autores ressaltam ainda que a CN apresenta cinco características essenciais: auto provisionamento de recursos sob demanda, acesso a rede, repositório de recursos, elasticidade rápida e serviços mensuráveis. Relatam também que os modelos de serviço são: SaaS (*Software* como um Serviço); PaaS (Plataforma como um Serviço) e IaaS (Infraestrutura como um Serviço). A figura 1 ilustra modelos de computação em nuvem.

Software como um Serviço é o tipo mais comum de estrutura utilizada, e a maioria de nós já usou em algum momento. O provedor desse serviço fornece toda a infraestrutura de *hardware* e *software* necessária. Os usuários interagem com esses serviços usando um *front-end* baseado na *Web*. Uma ampla gama de serviços é coberta, desde e-mail baseado na *Web* como o *Gmail* até *softwares* financeiros como o *Mint*<sup>1</sup>.

Plataforma como um serviço é um tipo de estrutura

na qual fornece ferramentas para desenvolvimento de *softwares* e produtos. Essa provisão de serviços possibilita o desenvolvimento, testes, implantação, hospedagem e gerenciamento de aplicações objetivando suportar o ciclo de vida do desenvolvimento de aplicações (BORGES, 2013). Segundo Hamid e Motahari (2010), na maioria das vezes, os navegadores da internet são utilizados como ambiente de desenvolvimento. Exemplos de plataforma nessa categoria são Microsoft Azure Service Platform<sup>2</sup>, Google App Engine<sup>3</sup> e plataforma Salesforce.com<sup>4</sup> utilizada no desenvolvimento de aplicações para internet.

O SaaS e o PaaS são análogos, porém se diferenciam devido ao primeiro usar *software* entregue pela *web*, enquanto o segundo é um ambiente para a criação, hospedagem e controle de *software*.

No modelo IaaS os serviços em nuvem oferecerem aos usuários recursos de *hardware*, como por exemplo armazenamento e poder computacional. Isso permite que as empresas ou consumidores aluguem esses recursos, em vez de investir na compra de servidores dedicados e equipamentos de rede (MOTAHARI-NEZHAD; STEPHENSON; SINGHAL, 2009).

Os IaaS geralmente fornecem acesso a blocos de construção básicos como serviços e é possível combinar e reunir em camadas esses blocos para criar a infraestrutura necessária para a execução dos seus aplicativos. Os exemplos mais conhecidos de IaaS são *Amazon Web Services* (AWS) e *Rackspace* (CHAGANTI, 2010).

Retomando a proposta desse artigo apontamos a computação em nuvem como uma possível solução para melhor compor a estrutura de TI do IFCE Virtual, assim o modelo do tipo IaaS oferece um conjunto de serviços básicos como: armazenamento de dados, balanceamento de carga e suporte para banco de dados necessários para fazer o estudo comparativo proposto.

### 3 METODOLOGIA

O estudo comparativo proposto neste artigo foi realizado baseado em dados reais extraídos através de monitoramento e gerenciamento do Ambiente Virtual de Aprendizagem, *Moodle*, viabilizados via diretoria de educação a distância do IFCE para dar suporte aos mais de 4000 alunos distribuídos no interior do Ceará (dados fornecidos pela DEaD-IFCE).

O método utilizado para realizar esse estudo comparativo seguiu os seguintes passos: 1) Analisar o modelo atual de TI utilizado no IFCE Virtual; 2) Analisar o modelo em nuvem; 3) Comparar o desempenho em

<sup>2</sup><http://azure.microsoft.com/pt-br/>

<sup>3</sup><https://developers.google.com/appengine/docs/whatisgoogleappengine>

<sup>4</sup><http://www.salesforce.com/br/>

<sup>1</sup><https://www.mint.com>



ponível, e a performance geral do sistema. Foi proposta então, neste artigo, uma análise do uso de uma arquitetura em nuvem para o IFCE virtual.

### 3.2 ANALISAR O MODELO EM NUVEM

Existem diversas plataformas, dentre elas, públicas e privadas que podem ser utilizadas para a criação de uma arquitetura em nuvem. Inicialmente pensamos em fazer teste com uma plataforma interna ao IFCE, ou seja, utilizar uma nuvem privada. Dessa forma, optamos por instalar um software de nuvem privada de código aberto, a saber Eucalyptus<sup>5</sup>, por possuir uma vasta documentação escrita e por ser muito utilizadas por empresas.

Contudo, durante o processo de instalação da plataforma, a máquina que tínhamos para teste não atendia aos requisitos mínimos de configuração. Por conta da limitação de *hardware* que tínhamos, optamos então fazer os teste através da estrutura da API AWS<sup>6</sup> que pertence à Amazon, computação em nuvem pública, onde os serviços são disponíveis pela internet e o usuário paga pelo uso. Um requisito importante para escolha da estrutura da API AWS é por ela ser compatível com a plataforma Eucalyptus da nuvem privada, já que a proposta é testar uma nova arquitetura de TI para o IFCE Virtual pensando numa estrutura de nuvem privada para o IFCE Virtual.

A figura 4, ilustra a nova arquitetura sugerida em nuvem para o IFCE virtual. foi utilizado um nó de gerenciamento o *Elastic Load Balancing*, um nó de processamento o *Elastic Compute Cloud*, duas instâncias replicadas e com redundância e duas instâncias de banco de dados com replicação e redundância.

Observa-se também na figura 4, as instâncias de servidores de aplicação (*virtual.ifce.edu.br*, *ul-virtual.ifce.edu.br*, *dl-virtual.ifce.edu.br*), banco de dados (*pgsqli.ifce.edu.br* e *mysql.ifce.edu.br*) e um balanceador de cargas (*Elastic Load Balancing*). É importante ressaltar que, na nova arquitetura sugerida para o IFCE virtual, o sistema passa a ser tolerante à falha, já que existem réplicas dos serviços e banco de dados garantindo o acesso ao AVA, mesmo que uma das instâncias pare de funcionar.

O *Elastic Load Balancing*, presente na figura 4, é responsável pela sincronia dos serviços de aplicação e direcionamento do tráfego, controlando assim o tráfego dos dados. Com ele, pode-se definir a política de tráfego. O dispositivo fica checando se os servidores de aplicação estão saudáveis e redireciona carga de acordo

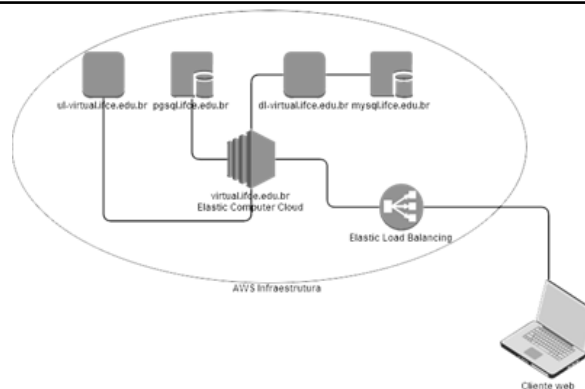


Figura 4: Modelo em nuvem do IFCE Virtual

com a política previamente configurada. Todas as instâncias demonstradas na figura 3 possuem uma política de replicação e de sincronização com a suas réplicas e estão interligadas ao *Elastic Compute Cloud*, onde fica hospedado o “*virtual.ifce.edu.br*” junto com as suas réplicas.

### 3.3 COMPARANDO OS DESEMPENHOS DAS ARQUITETURAS

Para fazer o comparativo entre os modelos atual e em nuvem utilizamos uma ferramenta, *wireshark*<sup>7</sup>, para enviar requisições ao ambiente virtual localizado na arquitetura da Amazon. Para trabalharmos com os dados nas simulações os mais próximos do real possível, foi utilizado como base as informações extraídas da arquitetura atual do IFCE Virtual.

A figura 5 exibe um gráfico com a quantidade de usuários que acessaram o ambiente virtual de aprendizagem no mês de maio de 2014. A partir desse gráfico, estimamos o número de requisições que devem ser utilizadas para os testes. O tempo médio de uso de cada aluno no ambiente virtual é de aproximadamente 20 minutos e as requisições ao ambiente são em torno de 4000 acessos/dia, geralmente acontecem nos finais de semanas e logo após aos encontros presenciais previstos nas disciplinas.

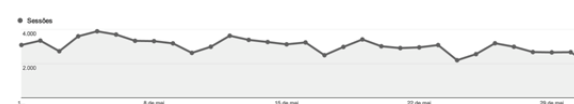


Figura 5: Gráfico de acessos ao IFCE Virtual utilizando a arquitetura atual

<sup>5</sup><https://www.eucalyptus.com/>

<sup>6</sup><https://aws.amazon.com/developertools/351>

<sup>7</sup><http://www.wireshark.org/>.

**Tabela 1:** Comparativo performance

|                | <i>AWS Amazon</i> | <i>IFCE Virtual</i> |
|----------------|-------------------|---------------------|
| 1º Requisições | 1583 ms           | 1581 ms             |
| 2º Requisições | 136 ms            | 109 ms              |
| 3º Requisições | 190 ms            | 193 ms              |

**Tabela 2:** Comparativo de redundância

|              | <i>Quantidade de redundâncias</i> |
|--------------|-----------------------------------|
| AWS Amazon   | 4                                 |
| IFCE Virtual | 1                                 |

Os testes na arquitetura proposta em nuvem foram realizados por uma semana, as requisições simuladas obedeceram ao comportamento dos acessos dos alunos observados na arquitetura atual. O domingo é o dia com mais acesso e, a partir dele, há uma pequena diminuição de acesso ao longo da semana.

Para o teste de performance, foi calculado quanto tempo é necessário para que uma requisição enviada para os dois serviços seja processada e enviada a sua resposta. Nesse teste, em cada tentativa, foram feitas 2000 requisições e feita uma média entre as tentativas, resultando o tempo em milissegundos (ms). Além disso, para cada tentativa, foi utilizado um horário diferente para ver as variações de tempo de resposta. Os resultados podem ser visualizados na tabela 1. Analisando os dados da tabela 1 verificamos que a arquitetura atual do IFCE possui um resultado muito semelhante à arquitetura em nuvem, assim possuem performance semelhante. Isso é devido a maneira pela qual a arquitetura atual está organizada: várias máquinas para realizar uma única função. Logo cada máquina na arquitetura atual se responsabiliza por uma única função, dessa forma ela se assemelha a um cluster de computadores.

Nos testes de disponibilidade de acesso ao AVA a arquitetura em nuvem demonstra superioridade em relação à arquitetura atual. Esse resultado é decorrente da vasta redundância na qual a computação em nuvem está fundamentada. Na tabela 2, podemos comparar a quantidade redundâncias de serviços, de aplicação e de banco de dados nos dois modelos. Na arquitetura em nuvem, cada máquina utilizada possui uma redundância de dados, aplicação e serviços, permitindo assim, um sistema tolerante a falhas. Mesmo que um servidor que contém o AVA torne-se indisponível, o sistema permanecerá em funcionamento permitindo que os alunos acessem a sala de aula virtual.

Nas comparações de réplicas e veracidade dos dados, a arquitetura em nuvem também possui vantagem, pois, no modelo atual, onde se encontra o IFCE Vir-

tual os dados replicados estão localizados somente nas centrais de backup de Fortaleza e Maracanaú e ainda possuem um atraso de 24 horas em relação aos dados das outras máquinas. No caso da arquitetura em nuvem, cada máquina implementada possui uma réplica que pode assumir a execução dos processos, caso a máquina principal se torne inacessível. Mas, para realizar essa função, é necessário que todas as informações que estejam contidas em uma máquina a ser replicada sejam idênticas à sua réplica. Logo, a probabilidade que exista perda de dados em uma arquitetura em nuvem proposta é muito menor que o da arquitetura atual, onde está hospedado o IFCE Virtual.

Os resultados obtidos apontam que o IFCE Virtual quando se utiliza da computação em nuvem, apresenta vantagens quanto à disponibilidade, segurança e consistência dos dados em relação ao modelo atualmente adotado. Quando analisado a performance dos dois sistemas, as arquiteturas mostraram resultados aproximados.

#### 4 CONCLUSÕES

Analisamos as características dos sistemas distribuídos e como elas podem ser aplicadas à educação a distância. Constatamos que, dentro dos sistemas distribuídos, a arquitetura a qual melhor se aplica à educação a distância é a arquitetura em nuvem, pois possui todas as características de um sistema distribuído com a possibilidade de ser escalonado.

Investigamos tipos de arquitetura em nuvem, quais eram os seus componentes e as suas funções. Analisamos a atual arquitetura do IFCE Virtual e discutimos a respeito de seus principais problemas, sua falta de redundância em serviços essenciais para o funcionamento do ambiente virtual disponibilizados para os alunos que estudam na modalidade a distância do IFCE.

Fizemos uma comparação entre o modelo de arquitetura atual do IFCE Virtual e um modelo com arquitetura em nuvem, apontamos os pontos as vantagens e desvantagens dessas arquiteturas. Ao fazer essa comparação, constatamos que a arquitetura em nuvem possui muitas qualidades em relação ao modelo atual a ponto de corrigir problema de redundância e segurança no site. Outra vantagem detectada na prática com as simulações é que na arquitetura em nuvem proposta há disponibilidade de permitir a expansão dos serviços.

O modelo de arquitetura atual do IFCE responde satisfatoriamente a requisições de 4000 usuários, contudo, para expandir esse recurso, seria necessário um novo recurso, com novos servidores e um aumento de segurança dos serviços e isso algumas vezes leva tempo. Em uma arquitetura em nuvem, que já fora desenvolvida

pensando em crescimento, expandir a arquitetura para suportar mais requisições não é uma tarefa tão árdua e deve levar menos tempo de implementação.

A expansão da arquitetura e o modelo a ser utilizado para suportar todas as ações da EaD na Instituição é um fator importante a ser refletido devido à taxa de crescimento da matrícula de alunos nessa modalidade no IFCE. Em 2008, tínhamos aproximadamente 500 alunos e hoje a Diretoria de Educação a Distância é responsável por mais de 4000 alunos.

Então, por qual motivo não será instalada uma arquitetura em nuvem no IFCE Virtual a curto prazo? O motivo é o custo de uma arquitetura em nuvem. Para realizar nossos testes, utilizamos uma nuvem pública. Contudo, segundo lei federal nº 7.232 (BRASIL, 1984), os órgãos públicos não podem hospedar serviços em redes públicas. Esses órgãos devem possuir sua própria infraestrutura para a disponibilização do serviço. Para a criação dessa arquitetura, será necessário um planejamento de recursos de capital para aquisição e instalação de um datacenter que possa suportar uma arquitetura em nuvem.

Frente a todos esses pontos investigados, devemos ficar atentos ao tempo necessário para a implantação de uma arquitetura em nuvem no IFCE Virtual, pois traria grande melhoria nos serviços prestados para a comunidade IFCE e outras Instituições em situação semelhante. Enfim, essa investigação poderá apoiar no embasamento teórico para justificar o projeto do datacenter.

## REFERÊNCIAS

BORGES, H. P. *Genru: uma abordagem para gerenciamento de nuvens baseada nos requisitos do usuário, criação dinâmicas dos serviços e definição de atributos de qualidade*. Tese (Doutorado em Ciências da Computação) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BRASIL. *Lei nº 7232, de 29 de outubro de 1984. Dispõe sobre a Política Nacional de Informática, e dá outras providências*. 1984. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7232.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7232.htm)>. Acesso em: 25 de Mar 2014.

CHAGANTI, P. *Serviços em nuvem para sua infraestrutura virtual, Parte 1: Infrastructure-as-a-Service (IaaS) e Eucalyptus*. Endicott, 2010. Disponível em: <<http://www.ibm.com/developerworks/br/library/os-cloud-virtual1/>>. Acesso em: 25 de Mar 2014.

COLOURIS, G.; DALIMORE, J.; KINDBERG, T.; BLAIR, G. *Distributed Systems: Concepts and Design*. Pearson Education. 5. ed. 2012.

KATSAROS, D.; PALLIS, G.; SIVASUBRAMANIAN, S.; VAKALI, A. Cloud computing [guest editorial]. In: *IEEE Network*. 2011. p. 4–5.

MELL, P.; GRANCE, T. The nist definition of cloud computing. In: *NIST Special Publication*. Gaithersburg, MD (US): National Institute of Standards and Technology, 2011. v. 800, p. 145. Disponível em: <[http://docs.ismgcorp.com/files/external/Draft-SP-800-145\\_cloud-definition.pdf](http://docs.ismgcorp.com/files/external/Draft-SP-800-145_cloud-definition.pdf)>. Acesso em: 4 de Jul 2014.

MOTAHARI-NEZHAD, H. R.; STEPHENSON, B.; SINGHAL, S. Outsourcing business to cloud computing services: Opportunities and challenges. *IEEE Internet Computing*, 2009.

NUNES, B. F.; PRASS, S. F. Desenvolvimento de um ambiente virtual de aprendizagem. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Rio de Janeiro: , 2012. ISSN 2316-6533.

PAREDES, L. N.; ZORZO, S. D. Privacy mechanism for applications in cloud computing. *IEEE Latin America Transactions*, v. 10, n. 1, p. 1042–1047, 2012.

SAITO, D. S.; ULBRICHT, V. R. Learning management systems and face-to-face teaching in bilingual modality. In: *IEEE Latin America*. 2012. v. 10, n. 1, p. 2168–2174.

SUNYÉ, G.; ALMEIDA, E. C.; TRAON, Y. L.; BAUDRY, B. Model-based testing of global properties on large-scale distributed systems. In: *Information and Software Technology*. 2014. v. 56, n. 7, p. 749–762.

TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. V. *Sistemas distribuídos: princípios e paradigmas*. 2. ed. : Pearson Prentice Hall, 2007.