

# UMA SOLUÇÃO DE *DATACENTER* PARA SUPORTE ÀS PESQUISAS NA REGIÃO DO CARIRI

GUILHERME ESMERALDO<sup>1</sup>, DILZA ESMERALDO<sup>2</sup>,  
MATEUS ALVES<sup>1</sup>, JAIRO FERRAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)  
Campus de Crato

<sup>2</sup>Universidade Regional do Cariri  
<guilhermealvaro@ifce.edu.br>, <dilza2005@gmail.com>  
<mateus.alves@ifce.edu.br>, <zerocalt@gmail.com>

**Resumo.** A simulação computacional é um das principais ferramentas para o desenvolvimento científico e tecnológico, com isso grande parte das pesquisas estão demandando muitos investimentos e tempo para otimização dos modelos de simulação computacional. A Região do Cariri Cearense, a partir da década de noventa, sofreu um expressivo incremento na implantação de cursos superiores nas esferas públicas e privadas. Consequentemente, surgiram os cursos *lato* e *stricto sensu*, com ações de pesquisa contando com o apoio de diversos órgãos de fomento. Nesses cursos, os núcleos, grupos e laboratórios de pesquisa permitem que docentes e alunos, das mais diversas áreas e níveis, façam dinâmica sincronia entre o ensino e a pesquisa científica o que torna cada vez mais necessário suporte tecnológico para o avanço dessas ações. Reconhecendo o potencial científico da Região do Cariri, este artigo apresenta uma solução de infraestrutura para um centro de processamento de dados, criado para apoiar o avanço do conhecimento científico e tecnológico e, consequentemente, o desenvolvimento regional

**Palavras-chaves:** Modelos de Simulação Computacional. Centro de Processamento de Dados. Fomento à Pesquisa. Desenvolvimento Regional.

**Abstract.** Computational Simulations are the main tools for scientific and technological development, such that a lot of researches are demanding investments and time for optimization of computational simulation models. The region of Cariri Ceará, from the nineties, suffered a sharp increase in the higher education deployment in public and private spheres. Consequently, *lato* and *stricto sensu* courses emerged with research actions supported by various funding agencies. In these courses, research centers, groups and labs allow teachers and students from different areas and levels make dynamic synchrony between teaching and scientific research increasing the requirements for technological support for performing these actions. Recognizing the scientific potential of the region of Cariri, this paper presents an infrastructure solution for a data center, created to support the advancement of scientific and technological knowledge and hence regional development.

**Keywords:** Computational Simulation Models. Data Center. Research Fostering. Regional Development.

## 1 INTRODUÇÃO

A simulação computacional é uma das principais ferramentas para desenvolvimento científico e tecnológico (DOS ANJOS et al., 2013). Praticamente toda a ciência e tecnologia moderna empregam modelos computacionais de fenômenos da natureza. Eles podem simular desde átomos e proteínas até a formação de galáxias e do universo, sendo úteis desde a prospecção de petróleo à produção de produtos farmacêuticos. Contudo, es-

sas previsões costumam ser complexas, pois quando são analisados grandes volumes de dados, a simulação pode se tornar ineficiente, devido a maiores requisitos computacionais. Como consequência, grande parte das pesquisas demandarão muitos investimentos e tempo para otimização dos modelos de simulação computacional e, consequentemente, obtenção dos resultados.

No Brasil, percebendo essa necessidade, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), criou, através do

Decreto nº 5.156, de 26/07/2004, o Sistema Nacional de Processamento de Alto Desempenho (SINAPAD). O SINAPAD é uma rede de centros de computação de alto desempenho, geograficamente distribuídos. Ao todo, são oito (8) unidades, denominadas Centros Nacionais de Processamento de Alto Desempenho (CENAPADs), operadas pelas universidades Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Federal de Minas Gerais (UFMG), Federal do Ceará (UFC), Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Federal de Pernambuco (UFPE), Estadual de Campinas (UNICAMP), pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) e pelo Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC). Este último coordena o sistema por delegação do MCT. A missão do SINAPAD é fomentar e apoiar o avanço do conhecimento científico e tecnológico por meio da oferta de serviços de Processamento de Alto Desempenho ao Sistema Nacional de Educação, Ciência, Tecnologia e Inovação, governo e empresas.

### 1.1 Contexto Regional

O Cariri Cearense é uma região geoeconômica que ocupa a porção meridional do Ceará, limitando-se com os Estados de Pernambuco, Piauí e Paraíba. Abrange 33 municípios, correspondendo a 12% da área total do território cearense. A população da Região do Cariri, segundo dados do IBGE (2010), totalizou 876.600 habitantes, representando 10,4% da população do Estado. O polo econômico, social e cultural do Cariri encontra-se centralizado no CRAJUBAR - formado pelos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha que, inclusive, cediam o maior número de escolas, bibliotecas e laboratórios.

A partir da década de noventa, houve um expressivo incremento na implantação de cursos superiores, nas modalidades de graduação, licenciatura e tecnológico, nas esferas públicas e privadas na Região do Cariri. Considerando a vinculação do sistema de ensino, na esfera federal temos:

- a Universidade Federal do Cariri (UFCA), com os cursos de Medicina (Barbalha); Agronomia (Crato); e Administração, Biblioteconomia, Comunicação Social, Design do produto. Engenharia Civil, Engenharia de Materiais, Filosofia e Música (Juazeiro do Norte); e
- o Instituto Federal do Cariri (IFCE), com cursos em Sistemas de Informação e Zootecnia (Crato); e Automação Industrial, Matemática, Educação Física, Engenharia Ambiental, Produção Civil e Construção de Edifícios (Juazeiro do Norte).

Já no sistema estadual, estão compreendidos:

- a Universidade Regional do Cariri (URCA), com Artes Visuais e Teatro (Barbalha); Ciências Biológicas, Ciências Econômicas, Ciências Sociais, Direito, Educação Física, Enfermagem, Geografia, História, Letras, Pedagogia (Crato); Engenharia de Produção, Matemática, Construção Civil (Habilitações em Edifícios e Topografia e Estradas) e Física (Juazeiro do Norte);
- a Universidade do Vale do Acaraú (UVA), com o curso de Administração;
- o Centro de Ensino Tecnológico do Ceará (CENTEC), inclui cursos nas áreas de Recursos Hídricos e Irrigação, Alimentos de Origem Animal, Alimentos de Origem Vegetal, Eletromecânica e Saneamento Ambiental, sendo que todos eles são desenvolvidos em Juazeiro do Norte.

Além da esfera pública, a Região do Cariri inclui ainda as seguintes faculdades particulares, com respectivos cursos:

- Faculdade Leão Sampaio (FALS), Administração, Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Biomedicina, Ciências Contábeis, Direito, Educação Física, Enfermagem, Fisioterapia, Gestão de Recursos Humanos, Gestão Comercial, Gestão de Segurança do Trabalho, Odontologia, Psicologia e Serviço Social;
- Faculdade Juazeiro do Norte (FJN), Ciências Contábeis, Enfermagem, Farmácia, Nutrição e Sistemas de Informação;
- Faculdade de Medicina do Juazeiro do Norte (FMJ), Medicina, Fisioterapia e Farmácia;
- Faculdade Paraíso do Ceará (FAP), Administração, Direito, Sistemas de Informação, Engenharia Civil, Jornalismo e Publicidade e propaganda; e
- Faculdade Católica do Cariri (FCC), Filosofia e Secretariado Executivo.

As IES do CRAJUBAR, além de cursos de graduação, acima discriminados, ofertam cursos lato e stricto sensu, estes últimos com grande potencial de expansão, uma vez que a UFCA e a URCA desenvolvem cursos de mestrados e residência médica bem como na URCA, estão sendo implantados os doutorados em bioprospecção molecular, direito e engenharia. As ações de pesquisa contam com o apoio de órgãos de fomento à pesquisa, podendo-se citar CNPq, FUNCAP, UERJ, UFRGS e

CAPES. Os núcleos, grupos e laboratórios de pesquisa permitem que docentes e alunos dos mais diversos cursos e níveis façam dinâmica sincronia entre o ensino e a pesquisa científica, tornando cada vez mais necessário o suporte tecnológico para o avanço dessas ações.

As universidades Federal e Regional do Cariri além dos IFCE/Juazeiro e do Crato e CENTEC/Juazeiro contam com infraestrutura laboratorial para pesquisa em algumas áreas como botânica, mineralogia, geoprocessamento, astronomia, alimentos, sistemas de informação, paleontologia, automação industrial, produtos naturais, farmacologia, alimentos e controle de qualidade de produtos. Em algumas situações, há a necessidade de testes laboratoriais em áreas específicas e, não havendo suporte na região, é muito comum a formação de parcerias com IES nas capitais, de modo que os pesquisadores devem se deslocar para esses centros para dar continuidade a seus trabalhos.

Percebe-se claramente que o incremento dos cursos de graduação e pós-graduação na região do Cariri tem refletido positivamente na cadeia produtiva regional causando considerável aumento de sua participação no Produto Interno Bruto Estadual.

Reconhecendo os avanços científicos obtidos no cenário nacional, a partir da implantação dos centros nacionais de processamento de alto desempenho, e o potencial científico da Região do Cariri Cearense, justificado pela diversidade de cursos, em nível de graduação e pós-graduação, sendo que este último, em momento de expansão, bem como laboratórios, núcleos e grupos de pesquisa relacionados, percebe-se que há a necessidade de um centro de processamento de tal porte para fomentar e apoiar o avanço do conhecimento científico e tecnológico e, consequentemente, o desenvolvimento regional.

Este artigo apresenta o projeto de infraestrutura para um centro de processamento de alto desempenho localizado na Região do Cariri. Serão tratados aspectos de normatizações técnicas para instalação de parque computacional, infraestrutura física, climatização e distribuição elétrica.

O restante do artigo foi estruturado da seguinte forma: Na Seção 2 são apresentados os conceitos teóricos necessários para compreensão do desenvolvimento trabalho. A Seção 3 descreve a metodologia adotada para construção e desenvolvimento de toda a infraestrutura física e lógica, além de processo adotado para gerenciamento de todo o projeto. Na Seção 4, o estado atual do trabalho é apresentado, incluindo os aspectos técnicos aplicados ao projeto. Por fim, na última seção, são apresentadas as considerações finais e demarcados os trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Processamento de Alto Desempenho (PAD) existe para tornar menos oneroso para os cientistas o desenvolvimento de modelos computacionais (PITANGA, 2003). PAD baseia-se no conceito de agrupamento, onde vários processadores, conectados através de variados meios de comunicação físicos e lógicos, operam em conjunto, como se fossem uma única máquina, um supercomputador (VETTER, 2013). Esta técnica diminui consideravelmente os tempos de processamento, permitindo que cientistas e pesquisadores tratem problemas em escalas maiores, o que não seria possível pelos métodos da computação convencional.

A utilização de um agrupamento de máquinas como solução para computação de alto desempenho, alta disponibilidade e balanceamento de carga é uma realidade e não se pode virar os olhos quanto a isso. Com apenas os equipamentos já existentes e *softwares* disponíveis gratuitamente, essas tecnologias podem ser utilizadas em cursos universitários, pesquisas e soluções comerciais Pitanga (2003, p. 2).

Os Centros de Processamento de Alto Desempenho incluem, como componente central da infraestrutura de TI, um *Datacenter* (VERAS, 2009). Um *Datacenter* é o elemento central de processamento e armazenamento dos dados para suportar processos organizacionais e interorganizacionais, bem como um provedor de serviços para as aplicações e, consequentemente, para os processos de negócio. O *Datacenter* é compreendido de vários sistemas, entre eles temos climatização e controle ambiental, distribuição elétrica e UPS (*Uninterruptable Power Supply*), e sala de computadores (MARIN, 2011).

Dada a sensibilidade dos equipamentos eletrônicos da infraestrutura de TI, é essencial que as condições adequadas de temperatura e umidade sejam mantidas. Para essa finalidade, devem ser mantidos sistemas de climatização redundantes, que permitam a refrigeração de todo o ambiente. Para que o sistema de climatização tenha suas necessidades atendidas, seu projeto deve levar em consideração características do ambiente computacional, tais como: a distribuição dos equipamentos e a necessidade de redundância.

Em um ambiente computacional, a dependência de fornecimento de energia elétrica é óbvia. Entretanto, para que possa ser garantido um bom funcionamento dos componentes de uma infraestrutura de TI, é necessário que se tenha um bom projeto elétrico. O projeto elétrico visa proteger os componentes da infraes-

estrutura de TI contra distúrbios originados no sistema elétrico, nas conexões de rede de telefonia ou outros meios de comunicação que estejam em contato direto com a infraestrutura. Os padrões previstos na norma ABNT NBR 5410:2005 (Instalações elétricas de baixa tensão) determinam os princípios para a instalação de uma rede elétrica de qualidade, para circuitos de baixa tensão, como é o caso da grande maioria dos equipamentos de infraestrutura de TI. Essa norma deve ser observada na construção de instalações elétricas para redes de computadores, que, dada sua utilização conjunta com a infraestrutura de TI, devem ser construídas em conjunto. Dentre as recomendações da referida norma, podem ser destacados: o uso de estabilizadores de tensão de alta qualidade, caso ocorra interrupção frequente de energia elétrica por curtos períodos de tempo e seja importante manter a continuidade dos serviços de rede; utilizar UPS de boa qualidade e corretamente dimensionado; e garantir a equipotencialidade do sistema de aterramento (ARAÚJO, 2011).

A sala de computadores é composta por um conjunto de nós computacionais interconectados que juntos processam dados de forma colaborativa e transparente, disponibilizando serviços e/ou efetuando tarefas a fim de atender a uma demanda específica (BRAUN, 2006). Este tipo de arquitetura é conhecida como Agrupamento de Computadores ou *cluster* (PITANGA, 2003). A ideia por trás dos *clusters* é unir o poder computacional dos nós envolvidos, prover alta escalabilidade ou construir redundância para prover alta disponibilidade (VUGT, 2014). Existem quatro tipos de *clusters*: de alta disponibilidade e tolerância a falhas, de balanceamento de carga, de computação distribuída e de computação paralela, sendo que este último é o utilizado em aplicações de processamento de alto desempenho.

Uma das abordagens mais utilizadas para construção de *clusters* de processamento paralelo é conhecida por *Beowulf* (GROPP; LUSK; STERLING, 2003). Esta abordagem trata de uma arquitetura composta de múltiplos computadores de mesa (PC), que são utilizados na computação paralela. Normalmente é formado de um computador servidor, chamado de mestre, e de vários clientes (escravos), conectados por algum tipo de rede; Sistema operacional que suporta o *hardware* de redes; Modelos de programação paralela, como MPI e PVM; Sistemas de arquivos paralelos ou tecnologias transparentes de bancos de dados; Ferramentas de controle, debugging, monitoramento, gerenciamento de recursos e agendamento; Bibliotecas de alto nível para dar suporte ao desenvolvimento e execução das aplicações paralelas.

É possível construir um *cluster* do tipo *Beowulf* com diversos sistemas operacionais e diversos tipos de ferramentas grátis e com licenças livres.

Dentre os sistemas operacionais, o GNU/Linux é, de longe, o mais utilizado em *clusters Beowulf*. Alguns dos fatores considerados para a escolha do GNU/Linux, incluem: alto desempenho, maturidade, estabilidade, suporte de grandes empresas (e.g. Google, IBM, HP, Dell e Fujitsu), desenvolvimento colaborativo, código aberto, baixo custo, entre outros (GROPP; LUSK; STERLING, 2003). O sucesso do GNU/Linux em processamento de alto desempenho pode ser constatado no ranking dos 500 supercomputadores mais poderosos do mundo<sup>1</sup>. Na lista publicada mais recentemente, a de junho de 2014, mais de 97% desses supercomputadores utilizam GNU/Linux como plataforma operacional.

Já as ferramentas utilizadas em *clusters*, abrangem diversas categorias. Temos como exemplos de categorias e de respectivas ferramentas:

- Sistemas de gerenciamento e distribuição de tarefas: Condor, SGE e OpenPBS/Torque+Maui;
- Sistemas de acesso e gerenciamento remoto: ROCKS, OpenSSH e Webmin;
- Sistemas de monitoramento remoto: Clumon, MTRG, Ganglia, Nagios, Cacti e Zabbix;
- Sistemas de arquivos distribuídos: NFS, PVFS e GPFS;
- Sistemas de instalação automatizada de sistemas operacionais e ferramentas em clientes e servidor: apt-get, yum, yast2, Kickstart, G4U e SystemImage;
- Sistemas de autenticação unificada: NIS, NIS+ e LDAP;
- Bibliotecas e *frameworks* para desenvolvimento de novas aplicações distribuídas: MPICH, MPICH-MPD, PVM e OpenMP.

Existem distribuições<sup>2</sup> GNU/Linux específicas para *clusters*, como os projetos ROCKS<sup>3</sup> e PelicanHPC<sup>4</sup>. Ambos disponibilizam imagens de sistema que incluem pacotes de *software* para instalação, configuração, gerenciamento e monitoramento de *clusters*.

<sup>1</sup><http://www.top500.org/>

<sup>2</sup>Uma distribuição GNU/Linux é a junção de um conjunto de aplicações, livres ou não, com o kernel Linux, que são distribuídos para instalação e uso como se consistisse de um novo sistema operacional.

<sup>3</sup><http://www.rockclusters.org/wordpress/>

<sup>4</sup><http://pareto.uab.es/mcreel/PelicanHPC/>

Uma vez dispondo-se de toda essa infraestrutura computacional e lógica, os usuários poderão desenvolver e/ou executar suas aplicações. As aplicações que executam em agrupamentos de computadores são conhecidas como aplicações paralelas (PACHECO, 2011). A programação de aplicações paralelas se estabeleceu, inicialmente, na computação científica (RAUBER; RUGNER, 2010), e hoje tem como objetivo principal solucionar problemas maiores dentro de um determinado período de tempo (KIRK; HWU, 2011). Esta técnica se caracteriza pela divisão de tarefas entre vários computadores, obtendo-se, desta forma, um ganho de desempenho na sua execução (GEBALI, 2011).

No entanto, escrever uma aplicação paralela é uma tarefa difícil e custosa (PITANGA, 2003), bem como exige um certo nível de experiência dos programadores (MATTSON; SANDERS; MASSINGILL, 2005).

Nesse cerne, diversas abordagens para desenvolvimento de aplicações paralelas foram surgindo. De acordo com Pacheco (2011), dentre as diversas abordagens, a grande maioria atua entre dois núcleos: divisão funcional (paralelismo de tarefas) e divisão de domínio (paralelismo de dados). No primeiro, o programa paralelo tem suas tarefas divididas entre processos para resolver o problema. Na divisão por domínio, dividem-se os dados do problema entre os processos, de forma que eles realizem números iguais ou aproximados de operações nos seus respectivos conjuntos de dados. Um dos métodos de desenvolvimento de algoritmos paralelos mais conhecidos é a metodologia de Ian Foster (FOSTER, 1995), que permite ao programador identificar fases no projeto para a análise do algoritmo e detectar a paralelização no código. Sua metodologia consiste de 4 fases: 1) dividir o código em partes menores de forma que possam ser executadas independentemente; 2) estabelecer um fluxo de comunicação entre os processos que envolvem o acesso a dados ou a troca de informações; 3) agrupar tarefas menores em tarefas maiores; e 4) definir em quais processadores cada processo será executado. Já para Rauber e Rugner (2010), o processo de desenvolvimento de uma aplicação paralela se resume em divisão funcional, atribuição das tarefas para processos ou threads e mapeamento desses últimos para diferentes núcleos processadores (TANENBAUM; WOODHULL, 2011). Martins (2003) cita que se pode obter aumento da qualidade da aplicação e redução do esforço de desenvolvimento através de reuso de *software*. Um framework é, segundo Braude (2005), é uma coleção de artefatos de *software* que é utilizável por várias aplicações diferentes, é tipo um denominador comum para uma família de aplicações. Existem variados *frameworks* para desenvolvimento de aplicações

paralelas. Porém, a grande maioria utiliza padrões e bibliotecas de suporte ao desenvolvimento de aplicações paralelas, onde entre eles, estão: MPI, OpenMP, CUDA e OpenCL. Em (MATTSON; SANDERS; MASSINGILL, 2005) são apresentados padrões para o desenvolvimento de aplicações paralelas. Segundo os autores, os padrões são registros da experiência de especialistas, podendo ser utilizados em problemas similares, e são organizados em quatro espaços de projeto: 1) estruturação do problema para expor os pontos de concorrência; 2) estruturação do algoritmo para obter vantagem sob os pontos de concorrência; 3) projeto do programa paralelo; e 4) implementação do programa paralelo, considerando mapeamento para ambientes de programação paralela, como MPI (PITANGA, 2008).

Comumente, para avaliar o desempenho do *cluster*, utiliza-se *benchmarks* (LUSZCEK et al., 2006). Um *benchmark* consiste de um ambiente composto de diversas aplicações de computação intensiva, scripts para compilação, execução de casos de teste, registros de logs (eventos), coleta e apresentação dos resultados. Entre os *benchmarks* mais utilizados para avaliar de desempenho em *clusters*, temos o HPCC<sup>5</sup> e CBench<sup>6</sup>.

A seguir, serão descritos os métodos e processos adotados para o desenvolvimento deste trabalho

### 3 METODOLOGIA

Os materiais e métodos adotados para execução desse projeto se baseiam em: 1) padrões para construção de *Datacenters*; 2) processos de desenvolvimento de *Datacenters*; 3) práticas de gerenciamento de projetos aplicadas ao desenvolvimento de *Datacenters*; e 4) acordo de cooperação objetivando a criação de uma solução operacional customizada.

As próximas subseções detalham um pouco mais cada um desses tópicos.

#### 3.1 Padrões para Construção do *Datacenter*

A construção de um *Datacenter* pode ser realizada em pequenas partes a serem integradas ou blocos padronizados. Os aspectos básicos para infraestrutura de *Datacenter* são definidos na norma TIA 942 (*Telecommunications Infrastructure for DataCenters*), a qual define padrões para: layout e espaço físico, infraestrutura de cabeamento, condições ambientais e classificação por níveis de disponibilidade (ARAÚJO, 2011).

Essa norma permite definir o nível de criticidade do *Datacenter*. A escolha da camada de criticidade deve

<sup>5</sup> <<http://icl.cs.utk.edu/hpcc/>>

<sup>6</sup> <<http://sourceforge.net/apps/trac/cbench/>>

ser feita baseada em um balanço entre o custo do *downtime* (tempo em que o *Datacenter* não está operacional) e o equivalente custo total de propriedade TCO (custos diretos e indiretos envolvidos no ciclo de vida de determinado equipamento) (DA SILVA, 2008). Quanto mais sofisticado for o *Datacenter*, menor o *downtime* e maior é o seu custo de propriedade.

Assim, a norma TIA 942 indica os requisitos, desde a construção até a pronta ativação do *Datacenter*. Essa norma se baseia em um conjunto de outras normas e é a principal norma existente para qualquer projeto de *Datacenter*. As principais normas relacionadas com a TIA 942 são:

- ASHRAE: trata da refrigeração.
- TIA/EIA 568: estabelece um sistema de cabeamento para aplicações genéricas de telecomunicações em edifícios comerciais. Permite o planejamento e a instalação de um sistema de cabeamento estruturado.
- TIA/EIA 569: norma que trata dos encaminhamentos e espaços.
- TIA/EIA 606: providencia um esquema de administração uniforme independente das aplicações.
- TIA/EIA 607: trata das especificações de aterramento e links dos sistemas de cabeamento estruturado em prédios comerciais. Providencia especificações sobre aterramento e conexões relacionados

### 3.2 Processo de Desenvolvimento para o Projeto do *Datacenter*

O processo adotado para o projeto de construção da infraestrutura de TI do *Datacenter*, é baseada no padrão de processo de construção de *Datacenters* da American Power Conversion (RASMUSSEN; NILES, 2007) - líder mundial em soluções e serviços para ambientes críticos de energia e refrigeração, com larga experiência em soluções de *Datacenters*.

Nesse padrão, o processo de desenvolvimento é dividido em quatro etapas bem definidas, que são: planejamento, projeto, aquisição e implementação.

A etapa de planejamento é a parte conceitual que define os detalhes do sistema a ser criado e do processo que permitirá a criação do sistema. O planejamento do sistema transforma o conceito em uma configuração detalhada. Nesta etapa, considera-se as atividades de levantamento de necessidades do negócio, definição dos parâmetros de TI, levantamento dos requisitos e limitações impostas pelos usuários e geração

das especificações. A etapa de projeto da infraestrutura de um *Datacenter* deve iniciar com a identificação dos requisitos de tecnologia, como redes, servidores, equipamentos de storage e conectividade. Em Marin (2011), é dito que nesta etapa, além desses requisitos, deve-se focar nos requisitos de engenharia, como distribuição elétrica, climatização, sistema de controle e segurança de site. Uma vez que os requisitos de infraestrutura foram levantados, as demais etapas consistem na aquisição dos equipamentos, montagem, integração de rede, orientação, treinamento, comissionamento (confirmação de que os sistemas foram projetados, instalados, testados de forma adequada e mantidos de acordo com o projeto desenvolvido, revisado e aprovado previamente) e *startup*.

### 3.3 Gerenciamento do Processo de Desenvolvimento do *Datacenter*

A gestão do projeto de desenvolvimento do *Datacenter* está sendo realizada mediante os processos definidos no guia *Process Management Body of Knowledge* - PMBOK (PMI, 2009). PMBOK é um livro que apresenta um conjunto de práticas em gerenciamento de projetos e constitui a base do conhecimento em gerenciamento de projetos do PMI (Project Management Institute). Segundo Veras (2009), o PMBOK pode ser utilizado como o modelo padrão para projetos de *Datacenters* e traz diversos benefícios, como o uso de uma linguagem comum e de uma terminologia transparente, a delegação de responsabilidades, o controle do tempo e das atividades críticas e a cobertura de todas as atividades e serviços necessários.

Assim, para cada uma das etapas adotadas, baseado no padrão do APC, para o projeto de *Datacenter*, estão sendo considerados os seguintes processos, definidos no PMBOK: planejamento para orientação e execução, controle e encerramento do projeto, com ênfase no cumprimento das metas; coordenação dos recursos do projeto para realização do trabalho descrito no plano; e acompanhamento e avaliação do desenvolvimento do projeto, realizando os ajustes necessários para atingir as metas. Além desses processos, considerou-se também o compromisso de gerenciamento e conclusão, após a execução das etapas definidas anteriormente, mediante aceitação do produto e documentação.

### 3.4 Cooperação para Desenvolvimento de Solução Operacional para o *Datacenter*

Frequentemente, soluções operacionais off the shelf não são as mais adequadas a determinados tipos de *cluster*. No caso do sistema operacional GNU/Linux,

que possui uma arquitetura modular e de baixo acoplamento, é possível personalizar de forma simplificada todo o sistema, que vai desde a compilação do núcleo do sistema (kernel) até a seleção de pacotes de *software*, gerando assim uma nova distribuição. Com esse processo, a cada dia, mais e mais distribuições são criadas, para as mais diversificadas categorias, como *games*, dispositivos embarcados, auditoria/segurança e fins educacionais. Diversas empresas e organizações desenvolvem suas próprias distribuições GNU/Linux.

Uma dessas organizações é a VectorLinux<sup>7</sup>, que possui uma distribuição GNU/Linux de mesmo nome. A distribuição VectorLinux pode ser incluída em diversas categorias, que vão desde uso em escritórios, ambiente de desenvolvimento de novas aplicações e servidor de aplicações de rede. De acordo com dados no site do projeto, a distribuição possui quatro metas básicas: ser rápida, ter desempenho, possuir estabilidade e ser adaptável ao que o usuário necessitar. O grupo de desenvolvedores da distribuição VectorLinux está espalhado pelo mundo e todo o processo de desenvolvimento é caracterizado por ser democrático, distribuído, assíncrono e contínuo.

O projeto da infraestrutura de TI, além do *Datacenter*, inclui ainda a criação de uma solução de sistema operacional GNU/Linux. Esse processo consiste na customização do kernel Linux para dar suporte exclusivo ao *hardware* do *Datacenter* e, conseqüentemente, obter aumento de desempenho no gerenciamento de recursos distribuídos, além em embutir ferramentas para instalação, configuração, acesso, manutenção, monitoramento, segurança e auditoria dos elementos de processamento e ativos de comunicação. A customização se dá em parceria com o grupo de desenvolvimento da distribuição VectorLinux, através de um acordo interinstitucional de cooperação técnica e científica.

A próxima seção descreve a solução atual para o *Datacenter* em desenvolvimento, detalhando aspectos de infraestrutura física, *hardware* e *software*, e apresenta uma breve discussão dos resultados obtidos até o presente momento.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente, o *cluster* do *Datacenter* é composto por 40 computadores de mesa do tipo torre, com as seguintes configurações de *hardware*: processador dual core de 64 bits com frequência de 2,2 GHz, 1 GB de RAM, HD de 80 GB e rede fast ethernet. Os computadores são suportados por 10 estantes de aço, dispostas 5 a 5 em paralelo, com orientação vertical e no sentido frente-

frente, formando três corredores de ar, sendo que um com ar frio, gerado por um ar-condicionado *split* de 33 kbtus, e dois com ar quente, gerados pelos dissipadores de calor dos computadores, acordando com a norma ASHRAE, como pode ser visto nas Figuras 1, 2 e 3. Cada estante possui duas colunas, onde fixou-se a distribuição elétrica e o cabeamento de redes, alternadamente, para evitar interferências eletromagnéticas em ambos os sistemas, como pode ser observado na Figura 3.

A rede elétrica é constituída de cabos de cobre de 5 mm com disjuntores de potência de 7,5 kW (Norma NBR 5361). Para cada estante há três tomadas elétricas, conectadas a uma rede de aterramento (Normas TIA/EIA 607 e NBR 5410). O UPS é realizado através do uso de filtros de linha e nobreaks, ambos com potência de até 2 kVA (Norma NBR 5410). Cada estante possui três *nobreaks*, onde cada um destes pode alimentar até 4 computadores, totalizando 12 computadores por estante. Com isso, a estrutura elétrica e UPS atuais têm capacidade para suportar até 120 computadores. A distribuição da rede elétrica é representada pelas linhas vermelhas na Figura 1.



Figura 2: Visão dos corredores frio, com detalhes das estruturas de distribuição elétrica e de comunicação de redes.

A infraestrutura de comunicação inclui dois *switches* de 24 portas fast ethernet e dois *patch panels*, dispostos em um *rack*. Para a rede de dados, adotou-se cabos de par trançado categoria 6e, seguindo a norma TIA/EIA 568. A distribuição do cabeamento é ilustrada em linhas e cabos azuis nas Figuras 1 e 2, respectivamente. O cabeamento nas estantes interliga os PCs aos *patch panels*, que por sua vez são conectados aos *switches* através 48 *patch cords* de 1m de comprimento.

<sup>7</sup> <<http://www.vectorlinux.com/>>

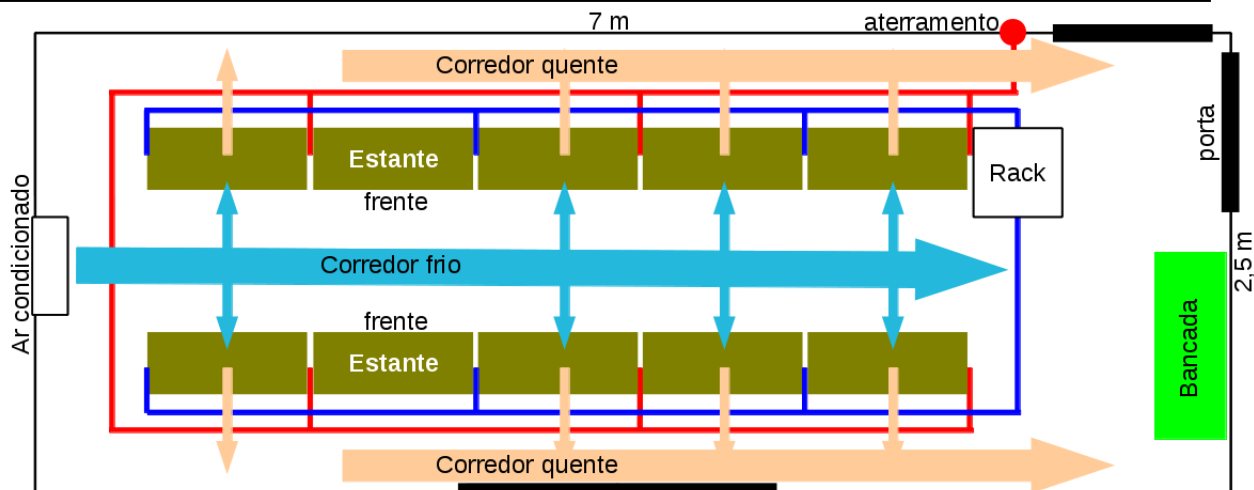


Figura 1: Planta baixa da sala do cluster.

A plataforma de *software* inclui uma versão inicial do sistema operacional VectorLinux customizado para *clusters*. Nessa customização, os códigos-fonte do kernel GNU/Linux foram modificados e compilados para suportar as configurações de *hardware* dos computadores e protocolos de rede utilizados na comunicação entre nós do *cluster* proposto neste artigo. Além disso, foram incluídos os seguintes pacotes de *software*: OpenSSH, para acesso e gerenciamento remoto dos nós mestre e escravos; NFS (*Network File System*), para compartilhamento em rede dos programas e dados das aplicações que serão executadas no *cluster*; a ferramenta slapt-get para instalação automatizada de pacote de aplicações; o editor de textos Vim, para edição de arquivos de configuração dos serviços de rede e códigos-fontes; o compilador gcc (GNU project C/C++ Compiler), o qual permite a compilação dos códigos-fontes em linguagem de programação C/C++ das aplicações do *cluster*; os depuradores gdb (GNU Project Debugger) e valgrind, para varredura de *bugs* e problemas no gerenciamento de memória das aplicações do *cluster*, respectivamente; as bibliotecas de programação paralela openMPI, a qual implementa o padrão MPI, e openMP, para suporte no uso de threads computacionais; e o pacote de *benchmarks* HPCC, para análise de desempenho do *cluster*.



Figura 3: Visão dos corredores quente, com detalhes das estruturas de distribuição elétrica e de comunicação de redes.

Na primeira iteração do projeto, todo o esforço se distribuiu entre as atividades listadas a seguir: pesquisas das normas técnicas (3 dias), organização do espaço físico da sala (3 dias), instalação dos sistemas elétrico e de climatização (3 dias), manutenção dos computadores (4 dias), configuração da infraestrutura de comuni-



cação (13 dias), formatação e configuração dos computadores (7 dias) e realização de testes iniciais de execução (2 dias). Com podemos observar, a maior parte do esforço foi empregada na configuração da infraestrutura de comunicação (cabearamento, *rack*, *patch panels*, *patch cords* e *switches*) e formatação e configuração dos computadores. Nesses resultados, não foi considerado o tempo dado para a customização do VectorLinux ao *hardware* dos computadores do *cluster*, pois essa tarefa sendo realizada continuamente por uma equipe com tamanho indefinido e distribuída no mundo, trabalhando assincronamente.

Vários fatores contribuíram para o baixo desempenho na realização dessas tarefas, entre eles: qualidade intermediária das ferramentas para manutenção e configuração de cabearamento e dos materiais utilizados; insuficiência de componentes de reposição para manutenção dos computadores; ausência do uso de ferramentas para automatização da instalação dos sistemas operacionais e para configuração e gerenciamento do *cluster*; e ausência de uma equipe maior, onde atuaram 8 pessoas com apenas 4 delas dedicadas, para uma maior distribuição de tarefas.

Além desses, outros fatores contribuíram negativamente no tempo total das primeiras iterações do projeto. Na fase de projeto de infraestrutura, a aquisição dos materiais, para rede elétrica, computadores, ativos e cabos de redes e estantes, bem como a contratação de profissionais qualificados para instalação de sistema de climatização e de rede elétrica, tiveram o maior impacto. Além disso, foi-se necessário realizar adaptações na rede elétrica externa à sala do *cluster*, como a troca dos cabos de força e de um transformador elétrico, para suportar os requisitos de consumo elétrico em picos de utilização do *cluster*. Outro fator que agregou tempo ao projeto, consistiu em capacitações da equipe técnica responsável pela execução do projeto, uma vez que parte dela é integrada por alunos de iniciação científica.

O desenvolvimento da infraestrutura do *cluster* deverá sofrer várias iterações até que esteja certificado em cada uma das normas adotadas. Contudo, uma vez que as mesmas têm direcionado as ações durante todo o processo, percebe-se que o esforço a ser empregado para as certificações, futuramente, será minimizado.

No processo adotado, o projeto estrutural do *cluster* seguirá evoluindo, pois devido aos constantes refinamentos dos requisitos e aquisições de novos componentes de *hardware*, haverá impactos nas iterações das diversas etapas no seu desenvolvimento, compreendendo desde a montagem e configuração de *hardware* e rede, configuração e testes do sistema operacional e respectivas ferramentas empregadas em *clusters*, otimizações e

análise de desempenho, bem como comissionamentos.

No projeto é preciso considerar também quais tipos de aplicações serão executadas no *cluster* e quais delas poderão ser beneficiadas, pois, dependendo do tipo, poderá haver impacto no desempenho final. Por exemplo, em aplicações com altas taxas de comunicação entre tarefas, a rede pode não ser suficientemente adequada, ou em caso de múltiplos acessos a um único conjunto de dados, o modelo de armazenamento (discos rígidos) pode não atender a demanda.

O *benchmark* HPCC consiste de um conjunto de aplicações utilizadas para medir o desempenho de sistemas computacionais. As aplicações do HPCC são:

- HPL: mede a taxa processamento dada para a solução de um sistema de equações lineares;
- DGEMM: mede a taxa de processamento necessária para realizar a multiplicação de duas matrizes de números reais;
- STREAM: mede a taxa de transferência de dados para a memória através do envio de fluxos de dados;
- PTRANS: calcula da capacidade de comunicação da rede através da comunicação entre todos os pares de processadores;
- RandomAccess: mede a taxa de acessos a memória através de atualizações em endereços gerados aleatoriamente;
- FFT: mede a taxa de processamento para o cálculo da Transformada de Fourier em uma dimensão;
- HLRS: medida de latência e de largura de banda da comunicação através de envio simultâneo de diversos tipos de padrões de comunicação.

Os resultados da execução das aplicações do *benchmark* HPCC são apresentados na Tabela 1, considerando como arquitetura de *hardware* um dos nós do *cluster* e o próprio *cluster* proposto.

Na Tabela 1, analisando os resultados das aplicações HPL, DGEMM e FFT, com exceção da primeira aplicação, houve um aumento significativo de desempenho. A adição de um maior número de processadores permitiu distribuir a carga computacional e consequentemente aumentar as taxas de processamento das aplicações. Os resultados também mostram que houve aumento de desempenho de memória, como ser visto para as aplicações STREAM e RandomAccess.

Contudo, os mesmos comportamentos não puderam ser observados para a comunicação entre processos. Os

**Tabela 1:** Comparativo dos resultados da aplicação do HPCC em um nó e no *cluster* proposto.

| Aplicação    | Nó                  | Cluster Proposto     |
|--------------|---------------------|----------------------|
| HPL          | 1,32 GFlop/s        | 0,99 GFlop/s         |
| DGEMM        | 1,78 GFlop/s        | 5,167251 GFlop/s     |
| STREAM       | 2,29 GB/s           | 2,46 GB/s            |
| PTRANS       | 0,22 GB/s           | 0,02 GB/s            |
| RandomAccess | 0,004 GUP/s         | 0,008 GUP/s          |
| FFT          | 0,30 GFlop/s        | 0,75 GFlop/s         |
| HLRS         | 4,3 ms / 463,6 MB/s | 170,4 ms / 11,7 MB/s |

resultados das aplicações PTRANS e HLRS, expostos na Tabela 1, mostram que houve um acentuado aumento nas latências de comunicação, reduzindo assim as taxas de transferência. Esse comportamento pode ser justificado pela introdução do sistema de intercomunicação em rede, baseado no padrão Fast Ethernet, quando comparado ao modelo de comunicação por memória compartilhada, utilizado pela arquitetura que inclui apenas um nó computacional.

Esses resultados mostram que apesar do aumento de desempenho, o *cluster* proposto ainda não está preparado para suportar aplicações com restrições rígidas de alto poder computacional.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o projeto da infraestrutura computacional de um centro de processamento de alto desempenho para a Região do Cariri. Para o desenvolvimento do parque computacional, que consiste de um *cluster* para processamento paralelo, foram considerados diversos padrões e normas técnicas que tratam desde a infraestrutura física, a distribuição elétrica, a rede de comunicação de dados, climatização e UPS. Para gerenciamento do projeto, foram ainda adotados processos de desenvolvimento de *Datacenter* e técnicas de gerenciamento de projetos.

Atualmente, o projeto encontra-se em sua primeira iteração. Estão sendo implementadas aplicações paralelas em diferentes áreas, como criptografia, inteligência artificial (algoritmos evolutivos), estatística computacional (regressão linear) e geoprocessamento, as quais serão utilizadas também como parâmetros de avaliação de desempenho da infraestrutura, e, posteriormente, aplicação de otimizações. Em paralelo, com apoio do grupo VectorLinux, segue a customização do sistema operacional, para embutir ferramentas de monitoramento, novos *frameworks* para programação paralela, suporte ao

gerenciamento de usuários e agendamento da execução das aplicações, instalação e configurações de rede automatizadas, bem como realização de testes em sistemas de arquivos distribuídos e a geração de mídias de instalação especializadas para nós mestre e escravo em *clusters*.

Trabalhos futuros incluem: o upgrade da infraestrutura de *hardware* para aumento de desempenho computacional; a elaboração de um plano de ação para problemas eventuais, como ausência de alimentação elétrica e ar condicionamento; para potenciais novos usuários, realizar capacitações - em arquitetura e organização de computadores, arquiteturas paralelas, algoritmos e programação, programação distribuída e paralela, técnicas, padrões, bibliotecas e *frameworks* para programação de aplicações de alto desempenho - através de minicursos, oficinas e escolas de verão; ampliação e atualização do parque computacional, da infraestrutura de redes e de climatização e de UPS; e estabelecimento de novas parcerias interinstitucionais técnicas e científicas.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P. F. *Infraestrutura de Tecnologia da Informação. Programa de Formação de Especialistas para a Elaboração da Metodologia Brasileira de Gestão de Segurança da Informação e Comunicações - CEGSIC*. 2011.
- BRAUDE, E. *Projeto de Software: Da Programação à Arquitetura: Uma Abordagem Baseada em Java*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- BRAUN, L. R. *Avaliação da Implementação de Clusters de Computadores Usando Tecnologias Livres*. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Feevale.
- DA SILVA, J. B. N. *Proposta de um Modelo Matemático de Custo Total de Propriedade*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — COPPE, UFRJ, 2008.
- DOS ANJOS, J. C. S.; IZURIETA, I. M. C.; TIBOLA, A. L.; GEYER, C. F. R. O. O 4º paradigma e a computação intensiva em dados. In: *Anais da 13a. Escola Regional de Alto Desempenho do Rio Grande de Sul*. Porto Alegre: [s.n.], 2013.
- FOSTER, I. *Designing and Building Parallel Programs: Concepts and Tools for Parallel Programs*. 1. ed. [S.l.]: Addison-Wesley, 1995.
- GEBALI, F. *Algorithms and Parallel Computing*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

- GROPP, W.; LUSK, E.; STERLING, T. *Beowulf Cluster Computing with Linux*. 2. ed. Cambridge: MIT Press, 2003.
- KIRK, D. B.; HWU, W. W. *Programando para processadores paralelos (Uma abordagem prática à programação de GPU)*. Rio de Janeiro,: Elsevier - Campus, 2011.
- LUSZCEK, P. R. et al. The HPC challenge (HPCC) benchmark suite. *Proceedings of the 2006 ACM/IEEE conference on Supercomputing*, p. 213. ACM, 2006.
- MARIN, P. S. *Data Centers Desvendando cada passo: conceitos, projeto, infraestrutura física e eficiência energética*. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2011.
- MARTINS, J. C. C. *Gerenciando Projetos de Desenvolvimento de Software com PMI, RUP e UML*. 5. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2003.
- MATTSON, G. T.; SANDERS, A. B.; MASSINGILL, L. B. *Patterns for Parallel Programming*. Boston: Addison-Wesley, 2005.
- PACHECO, P. An introduction to parallel programming. *Burlington: Morgan Kaufmann*, 2011.
- PITANGA, M. *Computação em cluster: o estado da arte da computação*. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda, 2003.
- \_\_\_\_\_. *Construindo supercomputadores com Linux*. 3. ed. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda, 2008.
- PMI. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMBOK). *Project Management Institute*, 2009.
- RASMUSSEN, N.; NILES, S. *Proyectos de centros de datos: La planeación del sistema*. 2007. White paper, no. 141, rev. 1. Acesso em 5 abr. 2014. Disponível em: <[http://www.apcmedia.com/salestools/SNIS-6VHRU8/SNIS-6VHRU8\\_R1\\_EN.pdf](http://www.apcmedia.com/salestools/SNIS-6VHRU8/SNIS-6VHRU8_R1_EN.pdf)>.
- RAUBER, T.; RUGNER, G. *Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems*. Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- TANENBAUM, A.; WOODHULL, A. *Sistemas operacionais: projetos e implantação*. 3. ed. Porto Alegre: Pearson Education, 2011.
- VERAS, M. *Datacenter: Componente Central da Infraestrutura de TI*. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.
- VETTER, J. S. *Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2013.
- VUGT, S. V. *Pro Linux High Availability Clustering*. [S.l.]: APress, 2014.