

Implantação de um Cluster de alto desempenho utilizando E-Waste

Breno R. de Sá¹, Fernando B. Matos¹

¹Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos (IF Goiano)
Caixa Postal 92 – 75650-000 – Morrinhos – GO – Brazil

Abstract. *Several educational institutions, have lots of electronic waste available dropped for not meeting the current computational requirements. In parallel, there is deficiency supercomputers for use in distributed processing disciplines and research. The purchase of this equipment does not bring an interesting cost benefit, since they have high cost and maintenance. This article presents a solution that consists of the implementation of a Beowulf cluster using existing computing infrastructure. Thus making it an interesting way to institutions that do not have large financial resources.*

Resumo. *Diversas instituições de ensino, possuem grande quantidade de lixo eletrônico disponível descartado por não atender os requisitos computacionais atuais. Em paralelo, existe a deficiência de supercomputadores para uso em disciplinas de processamento distribuído e pesquisas. A compra destes equipamentos não traz um custo benefício interessante, uma vez que possuem elevado custo de aquisição e manutenção. Este artigo apresenta uma solução, que consiste na implantação de um Beowulf cluster utilizando infraestrutura computacional existente. Tornando-se assim uma via interessante, para instituições que não possuem grandes recursos financeiros.*

1. Introdução

Existem diversas áreas que demandam por uma carga massiva de processamento ou que possuam serviços críticos que devem estar sempre disponíveis [Pitanga 2003]. Para atender esta demanda à um custo relativamente baixo surgiram os *clusters* computacionais. A quantidade de aplicações dos *clusters* são extensas. Segundo [Pitanga 2008] estas incluem videoconferência, ambientes de trabalho cooperativo, diagnósticos em medicina, base de dados paralelos utilizada para suporte a decisões e gráficos avançados em realidade virtual. A palavra *cluster* significa agrupar ou aglomerar, pode-se considerar como *cluster* dois ou mais computadores interligados para resolver uma tarefa comum [Jardim and Sá 2010]. Assim constituindo uma alternativa interessante para substituir os supercomputadores, que possuem um alto custo de aquisição e manutenção [Leal and Vasconcelos Filho 2011]. Os *clusters* são classificados como Sistemas Distribuídos. Que “é aquele no qual os componentes localizados em computadores interligados em rede se comunicam e coordenam suas ações apenas passando mensagens.” [Coulouris et al. 2007].

A ideia do uso de processamento distribuído não é nova, iniciando na década de 60 com a IBM, que utilizava o sistema HASP (*Houston Automatic Spooling Priority*) e JES (*Job Entry System*) com função de interligar Mainframes [Pitanga 2008]. Entretanto somente em 1994 Donald Becker e Thomas Sterling criaram no CESDIS (*Center of*

Excellence in Space Data and Information Sciences) da NASA o *cluster Beowulf*. Este utilizando microcomputadores comuns, os populares PCs [Tonidandel 2008]. Em seu primeiro protótipo o *Beowulf cluster* utilizava 16 computadores interligados. Os computadores possuíam um microprocessador Intel 486DX4, 16 MB de memória RAM, disco rígido de 540MB, ligados por duas interfaces de rede ethernet de 10Mbps [Pitanga 2008]. Ainda segundo [Zacharias 2004] o conjunto atingiu cerca de 70Mflops o que era comparável à de pequenos supercomputadores comerciais. O nome *Beowulf* faz referência ao herói do poema épico de mesmo nome, onde um dos seus principais atributos era o de possuir a força de trinta homens [Oliveira 2010].

Pode-se observar que existem diversas literaturas nacionais que abordam este tema. Marcos Pitanga [Pitanga 2002] cria o projeto Multipinguim visando a computação de alto desempenho e seu estudo. Em [Leal and Vasconcelos Filho 2011] é utilizado um *Beowulf cluster* para simulações de ambientes de rede. Igor Jardim e Paulo Sá [Jardim and Sá 2010] citam que instituições não governamentais e universidades recorrem cada vez mais ao uso de *clusters*. O que pode ser confirmado através dos trabalhos de [Beserra et al. 2014] e [Pinheiro et al. 2013] que implementam *clusters* em instituições de ensino. O trabalho apresentado por [Pinheiro et al. 2013] confecciona um *cluster* com equipamentos legados, porém não realiza testes para seleção do hardware, os nós escravos não possuem discos rígidos, além de utilizar pacotes diferentes dos abordados neste trabalho, como o DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) e PXE (*Preboot eXecution Environment*). Enquanto que [Beserra et al. 2014] utiliza de forma inteligente os recursos de hardware disponíveis, virtualizando diversos *clusters* nos computadores recuperados. Entretanto, este trabalho não utiliza hardware 100% reaproveitado, visto que foram utilizadas memórias RAM novas.

Neste trabalho, será descrito as principais etapas necessárias para a implantação de um *Beowulf cluster* utilizando hardware destinado ao descarte. Este *cluster* tem como objetivo suprir a demanda existente nas matérias de sistemas distribuídos do IF Goiano – Campus Morrinhos. Visto que não foram encontrados trabalhos científicos que aprofundaram na recuperação do *hardware*. Este trabalho pretende abranger a captação e seleção dos equipamentos utilizados. Ainda será descrito os fatores que levaram a escolha do local ao qual o *cluster* foi implantado.

2. A problemática do lixo eletrônico.

Nos dias atuais, existe uma grande preocupação com o lixo gerado diariamente pela população mundial, principalmente o lixo eletrônico (*E-Waste*). Segundo [Ruscevska et al. 2015] somente no ano de 2014 foram gerados cerca de 41,8 milhões de toneladas de lixo eletrônico que representa cerca de 5,9 quilogramas por pessoa. Ainda segundo [Calvão et al. 2009] cerca de 75% dos computadores vendidos até hoje, são considerados lixo computacional. E segundo um relatório da UNEP (*United Nations Environment Programme*) [PNUMA 2010] o Brasil possui grande potencial para introduzir tecnologias de reciclagem de lixo eletrônico, pois este setor é informal e relativamente pequeno.

No Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, este é um problema crescente. Pois com a troca do parque tecnológico, grande parte do material substituído, foi armazenado para processo de desfazimento. Pode-se também citar os acidentes nas aulas

práticas de manutenção. O que é comum, visto que se está ensinando algo novo ao aluno, que por sua vez nunca desmontou um computador. Uma das problemáticas, é o que fazer com o lixo eletrônico advindo deste mal funcionamento. Pode-se adquirir peças novas e consertá-los, porém a burocracia é grande. Outro caso refere-se ao tempo necessário para que as peças sejam adquiridas, isso se deve ao tramite comum de uma licitação, que é obrigatório em instituições públicas.

De qualquer forma o reparo dos equipamentos requer tempo e planejamento, pois ou se compra o equipamento buscando prever o que necessitará de reparo. Ou aguarda a ocorrência acontecer para requisitar as peças necessárias. Neste caso uma alternativa utilizada é a de abarrotar os depósitos com maquinas defeituosas.

2.1. A concepção da ideia.

Visto a problemática da instituição possuir grande quantidade de *E-Waste* (resíduo eletrônico ou lixo eletrônico) disponível. Existindo em paralelo a necessidade de um supercomputador, ora para o ensino de novas matérias aos alunos da instituição, ora para o cálculo de códigos massivos. Surgiu então a ideia da construção de um *Beowulf cluster* utilizando o lixo eletrônico da instituição. A filosofia utilizada neste *Beowulf cluster* foi inspirada nas apresentadas por [Pitanga 2002] possuindo algumas modificações, segue abaixo as filosofias:

- Fácil manutenção;
- Uso dos equipamentos disponíveis;
- Custo zero de hardware;
- Custo zero de software e ferramentas de apoio.

O trabalho foi iniciado com a procura do que seria o laboratório de pesquisa para a construção do *cluster*. Uma sala antiga próxima a um dos laboratórios de informática foi escolhida. Após a organização da sala foram iniciados os trabalhos de busca dos equipamentos utilizados no *cluster*. Acreditava-se, que seria encontrada pouca quantidade de lixo eletrônico, pois o parque tecnológico da instituição a tempos não era substituído. Entretanto foram encontrados diversos equipamentos, alguns muito antigos e outros recentemente descartados.

2.2. Triagem do lixo eletrônico.

A triagem dos lixos eletrônicos deve ser realizada com bastante cautela. Levando em consideração que foram encontrados equipamentos descartados de diversas formas. Desde aqueles bem-acondicionados, em laboratórios de manutenção e em salas fechadas. Quanto, também foram encontrados equipamentos jogados em galpões, sofrendo a ação de sol, umidade e até mesmo chuva. Este tipo de problemática não é exclusividade deste trabalho, segundo [Pinheiro et al. 2013] os equipamentos encontrados apresentavam problemas semelhantes. O que lhes transpareceram “falta de confiabilidade” no hardware.

Após a pré-seleção dos equipamentos, estes foram levados ao laboratório para uma segunda fase de triagem, limpeza e testes. Após limpeza cada peça foi testada:

- Disco Rígido: todos os discos rígidos foram formatados, após passarem pelo teste de disco do sistema Ubuntu. Em seguida passaram um teste de estresse/benchmark utilizando o software AS SSD Benchmark que verifica a velocidade máxima de leitura e gravação. Durante estes testes deve-se verificar se o HD possui ruídos referentes a cabeça de leitura ou demais componentes;

- Fonte de alimentação: todas as fontes foram testadas através de um multímetro, além de testes conectadas a uma bancada. A fonte deveria suportar no mínimo 10 minutos de funcionamento, sem ruídos nos coolers ou aparentar avarias;
- Memória RAM: todas as memórias RAM foram testadas individualmente, e limpas caso constatada a necessidade. No segundo teste procurava-se problemas de compatibilidade através do uso de múltiplas memórias na mesma placa mãe;
- Processador: Os processadores passaram por limpeza e troca de pasta térmica, além da verificação da qualidade do dissipador utilizado. A temperatura era verificada através da BIOS e deveriam ficar ligados por pelo menos mais de 10 minutos.

Após realizados os testes de bancada, que consistem em testar as peças em computadores abertos. Sendo esta uma técnica utilizada para agilizar o processo de teste. Os computadores em seguida foram montados e novamente passaram por um teste de funcionamento de cerca de 3 à 4 horas. Finalizado o período, os computadores são desligados abruptamente. Logo ligava-se novamente para verificar a temperatura através de sua BIOS. O teste de energia foi realizado, pois a instituição de aplicação se localiza na zona rural e o problema de quedas de energia é frequente. Lembrando que estes testes devem ser realizados afim de encontrar peças defeituosas e atestar o funcionamento do equipamento recuperado. Assim é possível garantir que o *cluster* após implantado deverá funcionar com a ausência de simples defeitos. Pois após a implantação do *cluster* o ideal é que ele funcione “sozinho” sem necessidade de muitas manutenções.

2.3. Equipamentos recuperados.

Abaixo segue a lista dos equipamentos recuperados após busca no campus:

- Vinte e seis computadores Itautec com processador Intel Pentium 4 HT, 1 gigabyte de memória RAM do tipo DDR, disco rígido com 40 gigabytes de armazenamento;
- Um servidor tipo torre com processador Intel Celeron D com 4 gigabytes de memória RAM do tipo DDR2, disco rígido com 160 gigabytes de armazenamento;
- Um notebook Acer com 128 megabytes de memória RAM, disco rígido de 10 gigabytes de armazenamento, processador Intel Pentium 3, placa de vídeo ATI Rage de 8 megabytes e carregador;
- Foram construídos dois computadores com processador Intel Dual Core, 4 gigabytes de memória RAM do tipo DDR2, placa de vídeo de 512 megabytes, 5 discos rígidos de 80 gigabytes totalizando 400 gigabytes de armazenamento, placa externa de rede 10/100/1000 Mbps (megabites por segundo) e leitora/gravadora de DVD;
- Foi construído um computador com Processador Pentium 4 HT, 4x512MB Totalizando 2GB de RAM do tipo DDR, Placa de Vídeo Nvidia MSI 128 megabytes, 5 discos rígidos de 80 gigabytes totalizando 400 gigabytes de armazenamento, placa externa de rede 10/100/1000 Mbps (megabites por segundo) e leitora/gravadora de DVD;
- Três nobreaks Engetron senoidal inteligente de 3kVa.

Na Table 1, demonstramos os quantitativos de hardware encontrados (Qtd encontrada) pelo quantidade de hardware recuperados (Qtd recuperada), bem como a porcentagem (%):

Table 1. Itens encontrados vs. recuperados

Item	Qtd encontrada	Qtd recuperada	%
Fonte de alimentação	79	59	74,7%
Disco rígido	86	69	80,2%
Memória RAM	64	60	93,3%
Placa Mãe	35	28	80%
Processador	35	29	82,9%

Lembrando que outros equipamentos foram encontrados, como mouses, teclados, impressoras, cabos, coolers, dentre outros. Esta tabela não engloba o item servidor tipo torre, pois este foi doado na íntegra pela Gerencia de Tecnologia da Informação.

3. Softwares utilizados.

O sistema operacional escolhido foi o Ubuntu server em sua versão 14.04LTS, sua escolha se deve ao fato de não utilizar interface gráfica, visto que os nós escravos não necessitam de monitores para execução, assim tornando desnecessário uso deste tipo de interface. Além de possuir acesso a informações facilitado por meio de seu site, possuindo documentação *off-line* em português. Abaixo segue a lista de pacotes utilizados para a configuração do *cluster*:

- Pacote lam-mpidoc este pacote contém as descrições da MPI;
- Pacote lam-runtime LAM (Local Multicomputer Area) é uma implementação open source do MPI;
- Pacote lam4-dev LAM (Local Multicomputer Area) é uma implementação open source do MPI que provê os cabeçalhos de desenvolvimento e arquivos relacionados;
- Pacote mpich-bin é a implementação do sistema de computação paralela MPI (Message Passing Interface);
- Pacote libmpich1.0-dev compõe bibliotecas estáticas e arquivos de desenvolvimento;
- Pacote libmpich1.0gf é a biblioteca runtime compartilhada do mpich;
- Pacote rsh-client programa de cliente para conexões de shell remoto;
- Pacote rsh-server programa de server para conexões de shell remoto;
- Pacote nfs-kernel-server este pacote contém o suporte em espaço de usuário necessário para uso do servidor NFS de núcleo kernel;
- Pacote nfs-common (somente nos escravos) suporte a NFS comuns ao cliente e ao servidor.

A Biblioteca MPI (*Message Passing Interface*) é referenciada pelos pacotes lam-mpidoc, lam-runtime, lam4-dev e mpich-bin, pode ser definida como o coração do *cluster*. O MPI é responsável pela troca de mensagens, ela otimiza a comunicação e aumenta o desempenho computacional das máquinas. O MPI surgiu da necessidade de se resolver alguns problemas relacionados à portabilidade existentes entre as diferentes plataformas [Leal and Vasconcelos Filho 2011]. Esta biblioteca permite o uso de linguagens de programação sequencial como C, C++ ou Fortran [Tonidandel 2008]. Em seu funcionamento o MPI envia uma cópia do código fonte para cada escravo e um nome, e cada escravo começa a execução de um programa a partir da primeira linha de comando e segundo [Jardim and Sá 2010] utilizam as seguintes regras:

- O escravo primeiro deve executar as linhas de comando não nomeadas;
- Executar cada linha nomeada com o mesmo nome do escravo;
- Um escravo não deve executar algo destinado a outro escravo.

Os pacotes *rsh-client* e *rsh-server*, permitem que o server execute os comandos nos nós constituintes, sem que haja a necessidade de autenticação manual por parte dos nós. O pacote *libmpich1.0-dev* contém códigos para execução de testes *cluster*. Os pacotes *nfs-kernel* e *nfs-common* permitem o compartilhamento de arquivos entre os computadores existentes no *cluster*.

4. Implantação do *cluster* ambiente de teste

Antes da implantação do sistema nos computadores físicos, foi preferível a pré-configuração dos sistemas, através de máquinas virtuais, a decisão foi tomada de acordo com os seguintes critérios:

- Entrega de sistema enxuto: configurando o sistema em máquinas virtuais, existe uma maior facilidade de mudar a versão utilizada, refazer as máquinas quando necessário, além de facilitar a realização de backups. Assim encontrando uma configuração mais próxima do desejado em menor tempo;
- Mitigação de problemas naturais: uma vez que o laboratório de pesquisas possui diversas infiltrações, comprometendo a confiabilidade do local, uma vez que existe a possibilidade de danos às máquinas de testes;
- Testes de diferentes configurações: com as máquinas virtuais, é possível simular diversos ambientes de rede, inclusive aplicando configurações de hardware distintas entre os nós;
- A pesquisa pode ser realizada em qualquer hora ou lugar: uma vez instalado no notebook do pesquisador, a pesquisa pode ser realizada a qualquer momento e em qualquer lugar. Visto que o Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos se localiza fora da cidade, e seu acesso é restrito aos finais de semana e feriados.

Ressaltando que os testes de configuração do ambiente *cluster*, foram realizados no computador pessoal do pesquisador, assim mantendo a filosofia adotada no projeto de custo zero. Configuração da máquina hospedeira:

- Hardware da máquina hospedeira: processador Intel Core i7-2670QM possuindo 4 núcleos e 4 threads, 8GB de memória RAM e 250GB de SSD;
- Sistema Operacional base: Windows 8.1, a licença é gratuita através de uma parceria do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos com a Microsoft;
- Máquina virtual utilizada: Hyper-v, máquina virtual presente de forma nativa no Windows 8.1.

Configuração das VMs de teste:

- Hardware cedido VM Mestre: um núcleo de processamento, 1GB de RAM e 10 GB de SDD, placa de rede virtual WAN e placa de rede virtual para rede interna do *cluster*;
- Hardware cedido VM Escravo: um núcleo de processamento, 512MB de RAM e 10 GB de SDD, placa de rede virtual WAN e placa de rede virtual para rede interna do *cluster*;
- Sistema Operacional: Ubuntu Server 14.04LTS.

5. Implantação do *cluster* ambiente real

Após, constatação que todas as configurações foram feitas corretamente, e que o sistema estava finalmente preparado para a implementação, foi decidido replicar o modelo para as máquinas reais, o local decidido para implantação foi o *Data Center* da instituição por possuir os seguintes requisitos:

- Temperatura controlada: o data center da instituição possui dois aparelhos de refrigeração fornecendo redundância, caso ocorram problemas em finais de semana ou feriados;
- Piso elevado: graças ao piso elevado, todo o cabeamento estruturado, bem como rede elétrica, fica bem acondicionada, permitindo melhor acesso a tomadas, pois estas estão disponíveis em diversos lugares abaixo do piso;
- Energia estabilizada: A corrente elétrica do *Data Center*, está estabilizada em 220V, não existindo oscilações na rede;
- Nobreaks: atualmente o *Data Center* dois nobreaks, ambos de 20Kva, trabalhando em redundância, assim garantindo uma disponibilidade de cerca de uma hora e meia, após queda de energia;
- Rack para instalação adequado: foi disponibilizado para a pesquisa um Rack IBM para alocação dos computadores, assim atendendo os requisitos iniciais de implantação.

A primeira configuração do *cluster*, foi realizada em três computadores, podendo ser escalonada, na medida do possível, as configurações dos computadores são:

- Dois computadores Itautec com processador Intel Pentium 4 HT, 1 gigabyte de memória RAM do tipo DDR, disco rígido com 40 gigabytes de armazenamento;
- Um servidor tipo torre com processador Intel Celeron D com 4 gigabytes de memória RAM do tipo DDR2, disco rígido com 160 gigabytes de armazenamento.

Para interligar os computadores foram utilizados:

- Um switch 3com de 48 portas 10/100Mbps, reaproveitado;
- Cabos de rede patch cords cat.5e blindados, reaproveitados.

6. Conclusão.

Através do trabalho apresentado pode-se concluir que é possível construir um *cluster* computacional, utilizando somente lixo eletrônico reciclável. Possibilitando assim grande diminuição do impacto ambiental. Levando em consideração que a instituição possuía grande quantidade de lixo eletrônico em deterioração abarrotando os depósitos e galpões. Tal material possui substâncias tóxicas e cancerígenas, caracterizando um risco se mal administrado. Além de não possuir futuro certo, incomodando visualmente ambientes públicos, como laboratórios de estudos. As peças sobressalentes reaproveitadas, foram disponibilizadas para a Gerência de Tecnologia da Informação utiliza-las.

As vantagens de tal conquista no âmbito acadêmico são nítidas, os materiais defeituosos e antigos ficaram à disposição das aulas de manutenção, para o aprendizado dos alunos. Além que agora os alunos poderão implementar os códigos estudados em suas disciplinas. Como por exemplo seu uso para resolução de problemas complexos como os NP completos. Novos projetos de pesquisa como comparativos de desempenho

e consumo energetico entre *clusters* reais e *clusters* virtualizados. Testes de desempenho em relação ao quantitativo de nós habilitados na execução do código. Gerenciamento de trafico da rede de um *cluster*. Ainda projetos de extensão, como elaboração de um grupo de estudo para programação distribuida. E a criação de um museu eletrônico, com os equipamentos antigos recuperados. agora são possíveis abrindo novas possibilidades de publicações. Trazendo assim resultados positivos ao IF Goiano - Campus Morrinhos.

References

- Beserra, D., Karman, R., Oliveira, F., Borba, A., Araujo, J., Araújo, A., and Fernandes, F. (2014). Utilização de hardware legado para o ensino de cad. *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*.
- Calvão, A. M., Rose, D. E., Ribeiro, D. d. S., Almeida, M. H. B. D., Almeida, R. L., and Lima, R. L. (2009). O lixo computacional na sociedade contemporânea. *I ENINED - Encontro Nacional de Informática e Educação*.
- Coulouris, G., Dollimore, J., and Kindberg, T. (2007). *Sistemas Distribuidos Conceitos e Projeto*. Bookman, 4th edition.
- Jardim, I. L. d. C. and Sá, P. S. S. (2010). Aplicabilidade de um sistema em cluster. *Revista das Faculdades Integradas Claretianas*, (3).
- Leal, L. B. and Vasconcelos Filho, F. X. d. (2011). Uma abordagem para alta demanda de processamento utilizando cluster de beowulf.
- Oliveira, J. B. d. (2010). Paganismo e cristianismo no poema beowulf. *Brathair*.
- Pinheiro, D. R. S., Ângelo C.S. de Medeiros, de A. Barbosa, L. P., Medeiros, J. P. S., and Neto, J. B. B. (2013). Reutilização de equipamento legado na criação de um cluster. In de Castro, A. F., editor, *Reutilização de equipamento legado na criação de um cluster*, pages 145–150.
- Pitanga, M. (2002). Supercomputadores caseiros: Construindo cluster com linux. <http://www.clubedohardware.com.br/artigos/supercomputadores-caseiros-construindo-clusters-com-o-linux/370/3>.
- Pitanga, M. (2003). Computação em cluster. <http://www.clubedohardware.com.br/artigos/computacao-em-cluster/153/3>.
- Pitanga, M. (2008). *Construindo supercomputadores com Linux*. Brasport, 3th edition.
- PNUMA (2010). Urgent need to prepare developing countries for surge in e-wastes. <http://goo.gl/7PcNR2>.
- Ruscevska, I., Nellemann, C., Isarin, N., Yang, W., Liu, N., Yu, K., Sandnæs, S., Olley, K., McCann, H., Devia, L., Bisschop, L., Soesilo, D., Schoolmeester, T., Henriksen, R., and Nilsen, R. (2015). Waste crime waste risks: Gaps in meeting the global waste challenge. Technical report, UNEP.
- Tonidandel, D. A. V. (2008). Manual de montagem de um cluster beowulf sob a plataforma gnu/linux. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP.
- Zacharias, D. C. (2004). Funcionamento de um cluster linux. <http://www.vivaolinux.com.br/artigo/Funcionamento-de-um-cluster-Linux>.