
ALTA DISPONIBILIDADE EM AMBIENTES VIRTUALIZADOS: AVALIAÇÃO SOBRE UMA PERSPECTIVA DE BAIXO CUSTO

ARNDT, Tomi Alexander ¹
MISAGHI, Dr. Mehran ²

RESUMO

Alta disponibilidade em ambientes virtualizados no âmbito computacional significa disponibilizar um serviço com a expectativa de que os usuários serão capazes de utilizá-lo sem interrupções não programadas, isto se deve ao fato de que esforços foram despendidos para que a operação se mantenha contínua, seja utilizando recursos redundantes de hardware, software ou ambos, porém o custo para a concepção deste tipo de sistema para pequenas empresas era inviável em grande parte pelo custo dos *storages*, porém com o passar dos anos novos sistemas e tecnologias de armazenamento surgiram, possibilitando novas maneiras de prover armazenamento escalável e confiável em nível de software. A IxSystems é uma empresa americana que desenvolveu um sistema operacional direcionado ao armazenamento chamado “TrueNAS”, uma variante do FreeBSD que contempla diversos recursos entre eles o ZFS, um sistema de arquivos altamente resiliente à falhas, escalável e open-source, que pode ser instalado em servidores comuns e proporcionar o mesmo nível de confiabilidade de *storages* vendidos por grandes empresas como IBM e DELL por uma fração do investimento se comparado à outras marcas. Desta forma este artigo aborda técnicas para conceber um sistema altamente disponível utilizando sistemas operacionais *open source* ou sem licenciamento, gerando um custo de investimento muito menor. Isto gera um valor principalmente a pequenas e médias empresas que não possuem capital de investimento mas necessitam operar seus sistemas informatizados com segurança.

Palavras-chave: Virtualização; Alta disponibilidade; Máquinas virtuais; Truenas.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente vive-se a “Era da Tecnologia da Informação” na qual o bem mais precioso das empresas é a informação. Desta forma, a acessibilidade destes dados tornou-se indispensável para a continuidade do negócio. Independente do porte da empresa, a perda ou indisponibilidade no acesso a essas informações pode gerar

¹Graduando do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Centro Universitário UNISOCIESC, tommyarndt@gmail.com ²Professor orientador: Dr. Mehran Misaghi, Centro Universitário UNISOCIESC, mehran@sociesc.com.br

inúmeros prejuízos. Diante disso questiona-se: Quais métodos ou ações podem ser aplicados para minimizar esses riscos?

Dispor de um ambiente virtualizado, aliado à alta disponibilidade, amplia exponencialmente a confiabilidade do acesso às informações ao mesmo tempo em que minimiza ou até mesmo elimina paradas não planejadas, reduzindo custos com manutenções de emergência, efetivo ocioso e, principalmente, a parada de operações. Essas paradas ocasionam grandes prejuízos principalmente em organizações que dependem da disponibilidade dos serviços informatizados. A utilização deste tipo de recurso é de grande valia para quaisquer organizações, independente do porte ou área de negócio.

Atualmente as empresas tornaram-se quase que completamente dependentes das tecnologias de informação, com o intuito de fornecer recursos para o crescimento das organizações. Desta forma, a TI é vista não só como parte da organização, mas também como responsável pelo crescimento da empresa, assumindo funções não somente operacionais, mas também de apoio estratégico para as outras áreas do negócio (MAGALHÃES; BRITO, 2007).

Uma grande parcela das empresas, sejam elas ligadas à tecnologia ou não, não estão devidamente preparadas para tratar uma falha inesperada em seus ambientes informatizados, desta forma dispor de um sistema altamente disponível torna-se um diferencial competitivo importante em um mercado corporativo cada vez mais conectado.

Os sistemas altamente disponíveis estão diretamente relacionados ao que se chama de sistemas distribuídos, um dos mais importantes objetivos no design de sistemas distribuídos é construir sistemas que possam recuperar-se automaticamente de falhas parciais, sem que isto afete seriamente o desempenho geral do ambiente. Estes sistemas devem continuar a funcionar de forma aceitável até a conclusão dos reparos (TANENBAUM, 2007).

De acordo com Coulouris (2007), a replicação é a palavra chave para prover alta disponibilidade e tolerância à falha em sistemas distribuídos, sendo tópico crescente e de suma importância à medida que cada vez mais os serviços providos pela computação tornaram-se móveis e “on-line” ou sempre conectados, de demanda crescente por serviços conectados e disponíveis tornou-se tão comum e necessária que, cada minuto em que estão indisponíveis há um grande prejuízo

tanto para as organizações que os fornecem para os consumidores de tais serviços; podem-se citar como exemplos, operações bancárias ou de cartão de crédito, telefonia, comércio, aviação, educação à distância, call-centers e supermercados. Mesmo corporações de pequeno e médio porte atualmente dependem diretamente de serviços on-line ou informatizados e falhas no servidor ou operações desconectadas provocam impacto direto na produtividade e continuidade dos negócios, causando enormes prejuízos.

O objetivo geral deste artigo é demonstrar que é possível implementar um sistema altamente disponível e de baixo custo utilizando o TrueNAS como storage centralizado, pelo fato de ser um sistema *open-source*, sem custo de licenciamento e possuir recursos voltados ao armazenamento e suporte diversos protocolos de comunicação, em especial o iSCSI que será utilizado para apresentação do armazenamento compartilhado no *cluster* deste trabalho.

Este sistema, além dos benefícios já citados e aliado a um sistema de máquinas virtuais altamente disponível, traz inúmeros benefícios em comparação a um ambiente sem o uso desta tecnologia, que proporciona redundância a nível de hardware e software.

Para atingir o objetivo proposto, foi desenvolvido um sistema de *cluster* utilizando dois servidores, interligados à um storage TrueNAS, caso algum dos servidores apresente falha, o sistema automaticamente fará o redirecionamento do acesso ao próximo nó ativo, proporcionando alta disponibilidade, evitando prejuízos oriundos de paradas não programadas e manutenções de emergência, proporcionando maior confiabilidade e continuidade do negócio.

Quanto aos objetivos específicos, a pesquisa focou em inicialmente avaliar os métodos a serem aplicados com a finalidade de minimizar os riscos de indisponibilidade em ambientes computacionais, após definidos, seguiu-se do estudo dos conceitos de virtualização e alta disponibilidade, propondo uma solução de baixo custo, e por fim, aplicar os conceitos em ambientes de testes isolado, com o objetivo de validar a eficácia da solução.

Este artigo inicia abordando conceitos pelo referencial teórico, seguido de um comparativo de custos demonstrado por quadros comparativos, logo após são demonstradas as etapas da pesquisa, por último são apresentados os resultados obtidos e as considerações finais com algumas observações da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta conceitos básicos para o entendimento do trabalho, terminologias técnicas, um breve histórico e abordagens possíveis de um sistema altamente disponível embasado em literatura conceitual.

2.1 ALTA DISPONIBILIDADE

O conceito de disponibilidade segundo Avizienis (2001) é a probabilidade de um sistema estar disponível e pronto para uso em um dado momento.

A alta disponibilidade não é um software ou hardware específico, e sim, mecanismos especialistas em detecção, mascaramento e recuperação de falhas, que somados a disponibilidade básica que o sistema já possui, visa manter o ambiente ou ecossistema o maior tempo possível disponível, inclusive com as possíveis paradas programadas.

A Tabela 1 demonstra os níveis de disponibilidade de um sistema de maneira quantificada, chamamos de *downtime* o tempo em que um sistema fica inacessível ou inoperante.

Tabela 1: Disponibilidade de um sistema, quantitativamente

Disponibilidade (%)	Downtime/ano	Downtime/mês
95%	18 dias 6:00:00	1 dias 12:00:00
96%	14 dias 14:24:00	1 dias 4:48:00
97%	10 dias 22:48:00	0 dias 21:36:00
98%	7 dias 7:12:00	0 dias 14:24:00
99%	3 dias 15:36:00	0 dias 7:12:00
99,90%	0 dias 8:45:35.99	0 dias 0:43:11.99
99,99%	0 dias 0:52:33.60	0 dias 0:04:19.20
100,00%	0 dias 0:05:15.36	0 dias 0:00:25.92

Fonte: (Pereira Filho, 2004)

Calcula-se a disponibilidade de um sistema levando-se em consideração dos parâmetros de: Tempo médio entre as falhas da sigla – Mean time Between Fail - (MTBF) e o tempo médio de recuperação – Mean Time to Repair – (MTTR), considerado o tempo médio entre a ocorrência da falha e a completa recuperação de todo o sistema. Sendo assim aplica-se a seguinte fórmula:

$$\text{Disponibilidade} = (\text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{MTTR})) \times 100 \quad [\text{Eq. 01}]$$

Entende-se por MTTF (Mean Time to Failure) como o tempo médio até que o serviço ou sistema apresente falha, e MTTR (Mean Time To Repair) como sendo o tempo médio de reparo. Para que a alta disponibilidade de um serviço seja mantida é primordial que haja redundância em todas as partes para que sejam minimizados os pontos de falha, comumente denominados SPOF (Single Point of Failure). Quanto maior a redundância implementada menor a probabilidade de interrupções.

Conforme mencionado por Piedad e Hawkins (2001), a proteção de um sistema está diretamente relacionada à sua redundância, aumentando a garantia de funcionamento do ambiente, eliminando SPOF (Single Point of Failure) e diminuindo os períodos de interrupção nos serviços. Desta forma, para que se obtenham níveis satisfatórios de alta disponibilidade é necessário prover maior redundância e confiabilidade aos sistemas, que por consequência implicam em altos investimentos e maiores custos operacionais. Uma das alternativas a estes custos é a utilização de *clusters* criados a partir do agrupamento de hardwares mais acessíveis, tornando-os similares às máquinas de grande porte.

2.2 CLUSTERS

Um *Cluster* de Computadores, também conhecido como COW (Cluster of Workstations), pode ser visto, em sua forma mais simples, como um conjunto composto por dois ou mais computadores (monoprocessados ou multiprocessados) que trabalham em harmonia buscando fornecer uma solução para um problema geral ou específico (STALLINGS, 2002). É uma tecnologia capaz de substituir supercomputadores em certos tipos de aplicações (como simulações, cálculos científicos, renderizações, entre outras) que necessitam de alto desempenho,

porém, com um custo bem reduzido, utilizando processadores/computadores com menor poder computacional isolado (COMER, 2007).

O uso de *clusters* geralmente está associado a organizações que fornecem serviços de estado crítico, necessitando garantir a confiabilidade e disponibilidade, com o objetivo de mantê-los funcionando sem ocorrência de falhas durante o maior tempo possível. Podemos exemplificar o uso de *cluster* altamente disponíveis em *Data Centers* de grandes empresas como a Google, Microsoft, Oracle além é claro, de organizações importantes como bancos, fornecedoras de energia e de segurança, podemos citar também sites de vendas *on-line* uma vez que este tipo de segmento depende seu lucro exclusivamente no fato de manter seus sistemas funcionando 24 horas por dia, 7 dias por semana, 365 dias ao ano.

Diante disto, segundo Machado, (2007) as vantagens de um *cluster* estão em sua escalabilidade, disponibilidade e no balanceamento de carga, normalmente utilizados em servidores web, sistemas de comércio eletrônico e firewalls.

Na figura 1, tem-se um exemplo bastante simples de um *cluster* de *failover* com dois nós, interligados por uma unidade de armazenamento.

Figura 01 – Exemplo básicos de cluster com dois nós



Fonte: docs.microsoft.com (2021)

A necessidade de tolerância a falhas e a alta disponibilidade como forma de redução no *downtime* contribuíram para a rápida aceitação deste tipo de sistema. Já segundo Tanenbaum, (2002) sistemas de computação em *cluster* tornaram-se populares quando a razão de preço/desempenho de computadores pessoais e estações de trabalho melhoraram.

2.3 VIRTUALIZAÇÃO

O conceito de virtualização segundo VON HAGEN (2009) é a separação lógica do pedido de algum serviço a partir de recursos físicos que realmente oferecem este serviço. A virtualização possui foco em ambientes virtuais lógicos ao invés de físicos, deste modo, cria-se uma independência entre hardware e software, permitindo que aplicações, serviços ou instâncias de um sistema operacional possam ser portáteis através de diferentes sistemas de computador.

Conseqüentemente, define-se que a virtualização proporciona abstração lógica de um hardware, software ou sistema operacional, liberando tais aplicações da dependência de uma peça específica de hardware.

Segundo TANENBAUM (2016) o primeiro software de virtualização foi desenvolvido pela IBM em meados de 1970 pelo nome de o CP-67, um software para o grande e caro computador mainframe IBM 360/67, sendo estes os primeiros passos das virtualizações. Em meados de 1990 pesquisadores da Universidade de Stanford seguindo o conceito da IBM desenvolveram um novo Hypervisor que seria o precursor tecnológico da VMware introduzindo a primeira solução de virtualização para plataformas x86 em 1999. Pouco tempo depois surgiram no mercado outras soluções, como o Xen, KVM, VirtualBox, Hyper-V e Parallels, mudando para sempre o mercado de computação.

O software responsável por prover virtualização é chamado de hipervisor, que habilita a execução de vários sistemas operacionais em um host físico. A função primária de um hipervisor é propiciar a criação de máquinas virtuais e administrar os acessos aos sistemas operacionais convidados, bem como os recursos do hospedeiro. Entre os modelos que existem, são eles divididos em duas arquiteturas, chamadas de hipervisor tipo 1 e hipervisor tipo 2 Tanenbaum (2016).

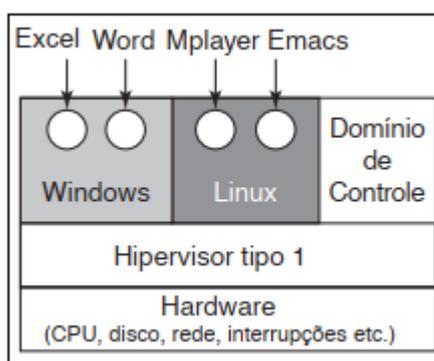
2.4 TIPOS DE VIRTUALIZAÇÃO

Hipervisores do tipo 1 são executados na camada de hardware, nesse caso o servidor se torna exclusivo para a virtualização, exemplos deste tipo de virtualização são o VMware ESX Server, Xen e Hyper-V.

Neste modelo, TANENBAUM (2016) descreve que o hipervisor é instalado como um sistema base diretamente no hardware, servido como sistema operacional base, e as máquinas virtuais são instaladas e gerenciadas através deste sistema, por ser o único sistema operacional em funcionamento em modo de núcleo.

Também conhecido como VMM (Virtual Machine Monitor/Monitor de Máquinas Virtuais) logo abaixo na Figura 02 um modelo descrito de hipervisor tipo 1.

Figura 02: Exemplo de hipervisor tipo 1

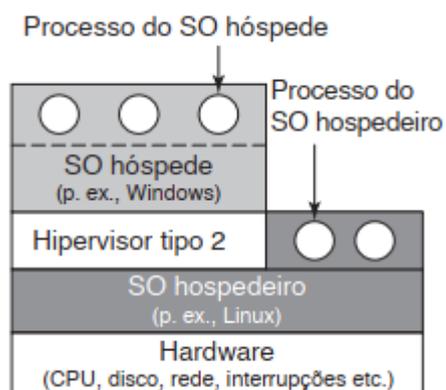


Fonte: Tanenbaum, pág. 330 (2016)

Hipervisores do tipo 2 são executados na camada do sistema operacional, funcionando como uma aplicação adicional, este tipo de virtualização depende de um sistema operacional base (como Windows ou Linux)

Como afirmado por SABOOWALA et al. (2013) Este tipo de virtualização possui desempenho inferior ao modelo 1, pois as requisições de chamada de processos precisam passar por camadas extras do sistema operacional, enquanto que em Hipervisores do tipo 1 elas ocorrem diretamente entre o virtualizador e as instruções de hardware. Exemplos de virtualizadores tipo 2 são o VMWare Workstation, Parallels e Wine.

Figura 03: Exemplo de hipervisor tipo 2

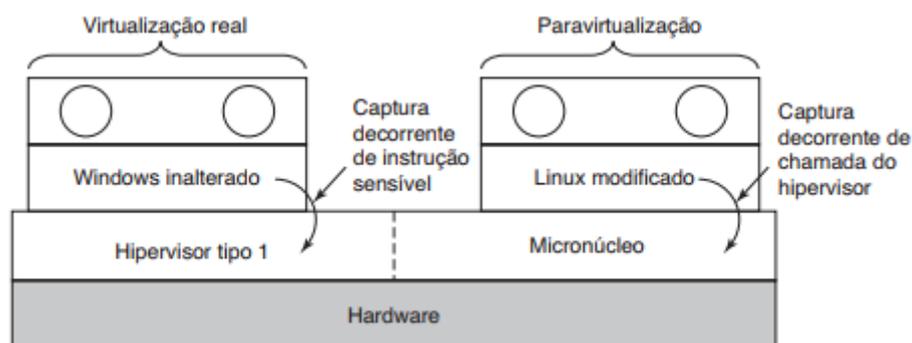


Fonte: Tanenbaum, pág. 330 (2016)

Além dos tipos 1 e 2 temos também o conceito de paravirtualização, que se diferencia pelo fato do sistema operacional a ser virtualizado sofrer modificações para que o software responsável pelo monitoramento das máquinas virtuais atue de forma mais eficiente, sistemas paravirtualizados substituem instruções não-virtualizáveis com instruções de hiper chamada que se comunicam diretamente com a camada de virtualização do hipervisor. Conforme relata ALKALAI (2007) apesar de implicar em alterações no sistema operacional hóspede, a abordagem desta virtualização propõe que o sistema hóspede tenha ciência que está sendo executado na camada virtual e possa interagir com ela, o ganho imediato desta cooperação é uma maior performance do conjunto como um todo.

A figura 04 abaixo demonstra as diferenças entre virtualização do tipo 01 e paravirtualizados.

Figura 04: Representação da diferença entre hipervisores tipo 1 e paravirtualizados



Fonte: Tanenbaum, pág. 334 (2016)

Com base nestas afirmações, em termos simplificados, pode-se afirmar também que virtualizar é o ato de consolidar ou diminuir a quantidade de hardware físico com o objetivo de obter um nível máximo de aproveitamento dos recursos. Recursos estes, muitas vezes subdimensionados nos inúmeros *datacenters* e servidores de grande porte utilizados até meados de 1999, quando a VMWare lançou a virtualização em sistemas x86.

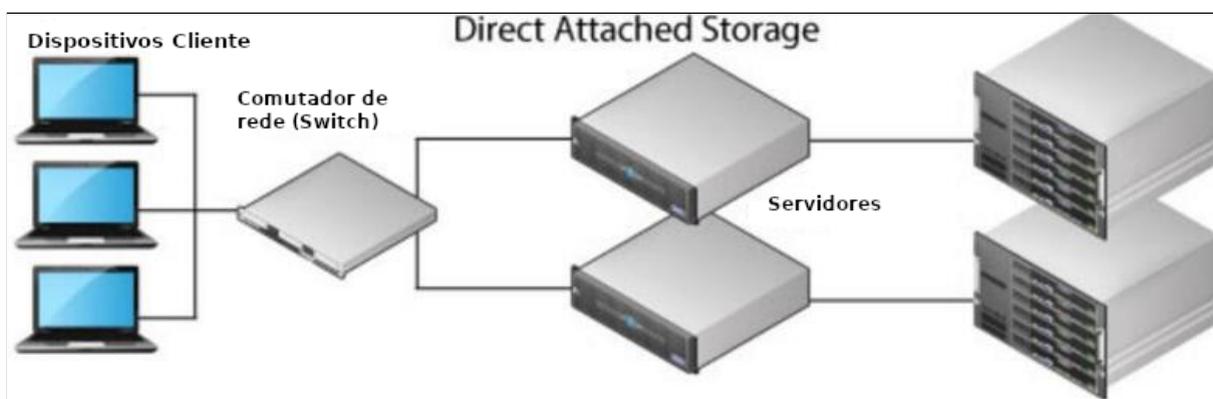
Do ponto de vista corporativo, a adoção desta tecnologia tem papel fundamental no melhor uso de recursos computacionais, na economia de espaço e energia bem como na diminuição dos processos de manutenção, uma vez que os servidores virtualizados tendem a ser consolidados em uma menor quantidade de servidores físicos com grande poder computacional.

2.5 ARQUITETURA DAS

O termo “DAS” deriva do inglês *“direct attached storage”* que em tradução livre pode ser definido como “armazenamento diretamente conectado” ou seja, é classificado como um sistema de storage que não utiliza interconexões de rede.

O termo pode ser aplicado amplamente, desde um disco rígido externo, conectado através de uma porta USB até dispositivos mais complexos, como storages dedicadas com vários discos rígidos configurados em RAID e conectados a um servidor através de cabos de alta velocidade utilizando controladoras com interfaces SAS. (REDHAT, 2020)

Figura 05: Arquitetura DAS



Fonte: Blog Router-Switch.com (2020)

A Figura 05 demonstra um dos conceitos de arquitetura DAS onde os dispositivos de armazenamento estão diretamente conectados aos servidores sem o uso de equipamentos de rede. Neste diagrama, as requisições de acesso aos dispositivos de armazenamento trafegam primeiramente pelos servidores, que por sua vez, realizam o acesso aos *storages* por meio de conexão direta.

2.6 ARQUITETURA NAS

A definição NAS (Network Attached Storage) é utilizada para definir a arquitetura de armazenamento na qual é utilizada uma infraestrutura de rede para interligar os servidores aos dispositivos de armazenamento de dados. A maioria dos autores bibliográficos define um dispositivo NAS como “sistemas especializados em armazenamento, com o objetivo de fornecer compartilhamento de dados através do uso de diversos protocolos através de uma rede”.

A maioria dos dispositivos NAS disponíveis no mercado são projetados com um hardware e software pré configurados pelo fabricante, fornecendo as funções básicas de gerenciamento e configuração e possuem uma equipe de suporte dedicada.

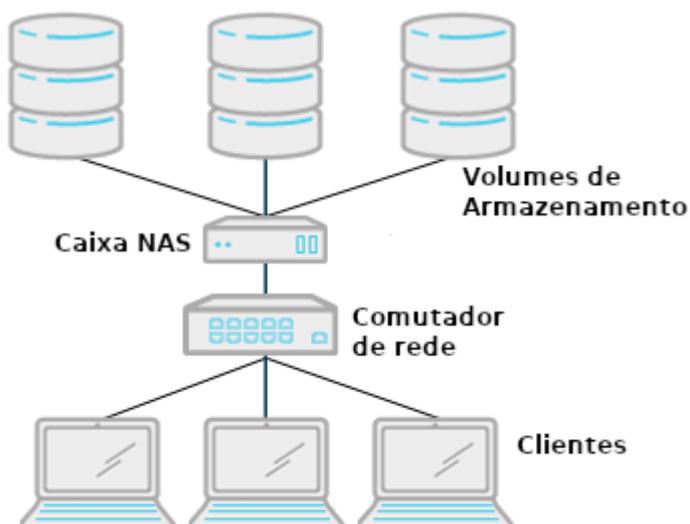
Sistemas NAS não comerciais, no entanto, geralmente são concebidos a partir de sistemas operacionais modificados e especializados para executarem funções específicas direcionadas ao armazenamento, estes sistemas são conhecidos como “Software NAS”.

Estes sistemas possuem suporte completos a diversos protocolos de comunicação e compartilhamento de arquivos bem como possuem suporte para administração remota via rede. (LEHMANN, 2007, SHELBY & VERMAAT, 2012).

No que diz respeito a este artigo focaremos o uso de NAS pois trata-se de uma abordagem mais adequada no contexto custo versus benefício e complexidade de implementação.

A figura 06 representa um sistema NAS com três volumes de dados e interconectado a um switch, atendendo quaisquer requisições de acesso aos dados através de rede de quaisquer um dos 3 clientes.

Figura 06: Representação de um sistemas NAS (Network Attached Storage)



Fonte: redhat.com (2021)

2.7 SISTEMA DE ARQUIVOS ZFS

O sistema de arquivo ZFS é um sistema de arquivos 128 bits, de código aberto que foi desenvolvido pela antiga Sun Microsystems e lançado em 2005 em conjunto com o sistema OpenSolaris. Este sistema de arquivos trouxe consigo vários recursos que romperam barreiras tecnológicas na imperavam até então.

Jeff Bonwick e Bill Moore foram os engenheiros responsáveis pelo projeto, que teve como premissa: simplicidade, integridade, e escalabilidade, esta premissa, surgiu principalmente pelo paradigma da era da informação a qual estamos vivendo, o crescente volume de dados e informações, desde usuários domésticos que armazenam Gigabytes de fotos vídeos e outros documentos, bem como empresas que atualmente acumulam Terabytes de dados críticos, gerou uma alta demanda por segurança, integridade e confiabilidade. (LEAL, 2010)

Quando à a disponibilidade, Leal (2010) afirma ainda que:

Um sistema de informação hoje não pode ficar inacessível aos seus usuários, esperando por exemplo por processos de checagem de integridade do sistema de arquivos, isto é passado. Os dados precisam estar íntegros e o sistema precisa estar disponível logo após ser acionado, seja em casa ou no trabalho.

Ainda neste contexto, Leal (2010) segue afirmando que a tecnologia é impulsionada de acordo com a base de usuários, neste caso, grandes corporações e governos que demandam tecnologia de ponta e por consequência, alto custo, após um tempo de maturidade e consistência, verifica-se que esta tecnologia pode ser utilizada em larga escala e com um custo menor, tal qual como aviões militares os quais são aperfeiçoados e transformam-se em transporte de passageiros.

Desta forma o ZFS, antes utilizado em grandes datacenter agora ganha o mercado doméstico, o usuário doméstico e pequenas empresas têm a oportunidade de utilizar os mesmos recursos e tecnologias de armazenamento, isto graças às características de aplicativos de código aberto e acesso livre, que podem ser modificados e distribuídos sem fronteiras ou restrições.

Sendo assim, é possível afirmar que o sistema de arquivos ZFS combina os manipulação lógica com sistema de arquivos altamente resiliente. possibilitando a construção de sistemas de missão crítica de armazenamento com discos de baixo custo, combinando recursos de redundância e integridade de dados que geralmente só são encontrados em storages de grande porte.

2.8 SISTEMAS OPERACIONAIS NAS

Em uma busca rápida pela internet é possível verificar que existe uma grande variedade de sistemas operacionais NAS, tecnicamente, qualquer sistema operacional que pode ser administrado remotamente e configurado com compartilhamentos de arquivos pode ser utilizado para esta finalidade, mas os "sistemas operacionais "NAS" são especificamente desenvolvidos e focados neste objetivo, pois normalmente possuem apenas os serviços e protocolos necessários para fornecer compartilhamento de arquivos de rede.

Sendo assim, alguns deles podem assumir funções adicionais, como hospedeiros de máquinas virtuais ou como função de servidor web. Os sistemas NAS integrados geralmente usam versões modificadas do Linux ou algum outro sistema operacional embarcado.

Alguns desses sistemas operacionais também são conhecidos como SOTR (Sistema Operacional em Tempo Real) ou RTOS (do inglês) Os RTOS's diferenciam-se dos sistemas operacionais normais pelo fato de serem projetados

para responder a comandos e processos dentro de um tempo mínimo, embora alguns sistemas operacionais normais funcionam dessa maneira também. Isso é muito importante em dispositivos de rede e outros sistemas onde um atrasos podem acarretar erros de “timeout” entre outros problemas (HEATH, 2003)

Algumas empresas também desenvolvem seus próprios sistemas operacionais proprietários, alguns dos quais são baseados em Linux ou FreeBSD (por exemplo a LaCie). Todos esses sistemas operacionais têm suporte para os protocolos NFS, AFP, SMB, CIFS, iSCSI entre outros protocolos comuns em sistemas NAS, às vezes com suporte total, outras vezes limitado.

2.8.1 - LINUX, FREEBSD E OUTROS SISTEMAS BASEADOS EM “UNIX”

O Linux é um destes sistemas operacionais "semelhante a Unix" que oferece fácil personalização para uma grande variedade de aplicações, pois trata-se de um sistema operacional de código aberto, seu código-fonte está disponível para qualquer pessoa que queira usá-lo e modificá-lo. Por definição, "Linux" é apenas o Kernel, ou núcleo dos sistemas operacionais nos quais eles são baseados, pois fornecem apenas as funções mais simples, como memória e gerenciamento de processos. (STALLMAN, 2021)

A partir deste kernel, foram desenvolvidas muitas “distribuições” que adicionam vários outros programas complementares como editores de imagem e aplicativos para edição de texto e planilhas, tornando estas distribuições, sistemas operacionais completos (RAGGI, 2010). O mesmo vale para FreeBSD e o illumos (uma variante do OpenSolaris). que, tal qual o Linux, são sistemas operacionais semelhantes ao “Unix” e possuem kernels de código aberto, disponível gratuitamente para uso e, acordo com Matzan (2007) o FreeBSD em alguns casos pode até ter suporte a binários compilados para Linux se estiver configurado corretamente.

O OpenSolaris não é mais atualizado com esse nome desde que a Oracle adquiriu a Sun Microsystems, que era a principal desenvolvedora deste sistema operacional e o transformou em um sistema de comercial de código fechado. Uma variação de “*open-source*” dele existe sob o nome de "illumos" que ainda está em desenvolvimento ativo, porém o illumos não possui mesmo suporte de hardware que

existia no OpenSolaris podendo não funcionar corretamente em hardwares em que seu antecessor possuía suporte. (GERMAIN, 2012).

Em se tratando de NAS personalizados, pode-se encontrar uma versões modificadas desses sistemas operacionais especificamente otimizados para uso de sistemas NAS, ou mesmo utilizar distribuições “padrões” e customizá-las de acordo com a necessidade.

2.8.2 - LINUX, PROTOCOLOS DE USO EM NAS E OUTROS RECURSOS

Conforme mencionado anteriormente, a arquitetura de código aberto do Linux possibilita customizações que em outros sistemas operacionais não seriam possíveis. por exemplo, é possível habilitar funções de iSCSI e outros recursos e modificá-los para funcionarem de acordo com um sistemas NAS, obviamente isto depende de um maior conhecimento por parte do usuário, porém proporciona maior controle sobre quais serviços serão realmente utilizados e isto é particularmente positivo no sentido de diminuir a quantidade de memória utilizada, reduzindo significativamente o número de serviços “sem necessidade”, este tipo de flexibilidade é o que diferencia o Linux e o FreeBSD de outros sistemas operacionais.

Em distribuições Ubuntu, por exemplo, recursos comumente utilizados em sistemas NAS como iSCSI, NFS e SMB/CIFS, todos protocolos necessários para uso de dispositivos NAS que podem ser facilmente habilitados através de “pacotes”, uma vez que trata-se, também de uma variante do Debian, outra distribuição Linux. (UBUNTU, 2020)

2.8.3 - TRUENAS E FREENAS

O sistema FreeNAS foi originalmente concebido como um projeto voluntário sob uma variante do sistema operacional FreeBSD em 2005 mas, foi descontinuado pelo principal desenvolvedor em 2009. (IXSYSTEMS, 2020)

O contínuo suporte da iXsystems à sua versão comunitária bem como o suporte da comunidade “open-source” possibilitou o aperfeiçoamento deste sistema a ponto de ser reconhecido como um dos melhores sistemas direcionados ao armazenamento do mercado.

No website da empresa podemos ter acesso à documentações técnicas, chamadas de “white papers” que relatam em testes aplicados a eficácia do sistema. Além disso, existem outros documentos de estudo de caso em universidades, instituições e empresas que utilizam o TrueNAS e foram utilizados como estudo de caso com pleno sucesso. (IXSYSTEMS, 2020)

Como contribuição para o estudo e aplicação prática que consta neste artigo focaremos a empregabilidade do TrueNAS como uma solução consolidada e profissional de código fonte aberto para *Storage*.

A escolha deste sistema para uso do armazenamento de dados na montagem de nosso *cluster* deu-se pelo fato de ser um sistema que pode ser utilizado sem custo de licenciamento, ter a flexibilidade de ser instalado em praticamente qualquer hardware e possuir o sistema de arquivos ZFS (Zeta Filesystem) que é um sistema de arquivos com ótimo desempenho e altamente resiliente a falhas.

Além dos recursos já citados, conta também com gerenciamento centralizado via interface web e RAID via software com monitoramento de integridade, suporte nativo a protocolos SMB/CIFS, NFS, FTP, iSCSI entre outros, da flexibilidade de adicionar recursos através de plugins.

2.9 - COMPARATIVO DE CUSTOS

Como já mencionado, o objetivo deste estudo é fornecer de forma real os benefícios da adoção do software livre ou sem custos de licenciamento em projetos e cenários onde o custo de hardwares de armazenamento dedicados não são viáveis. Desta forma utilizaremos uma tabela comparativa de custos entre alguns *storages* “de entrada” de marcas conceituadas frente ao uso de um servidor dedicado, pensado para atuar como um sistemas NAS ou DAS, utilizando no mínimo, interfaces de rede 1 Gigabit para cenários em que a velocidade de transferência não são críticas, como por exemplo, um servidor de arquivos para até 100 usuários, ou em casos mais específicos, como servidores de mídia, arquivos de vídeo, bancos de dados ou servidores web de grande porte.

O autor lembra apenas que, existem diferenças entre hardwares de uso doméstico e os desenvolvidos para uso em empresas são fabricados com componentes muito mais robustos, visando uso intenso e operação 24 horas por dia

por vários anos, por isso seu custo é consideravelmente maior. Sendo assim é importante destacar que, o fato do trabalho em questão focar na redução de custos, fatores como o tipo de hardware utilizado, não foram desconsiderados.

Mesmo nestes casos, o custo de uma solução com o TrueNAS tende a ser menor e mais flexível, tendo em vista que, o fato do sistema NAS/DAS ser baseado em software, este poder ser atualizado ao longo dos anos, proporcionando novos recursos a cada nova versão do sistema.

Nos quadros abaixo, estão relacionados os dois tipos de hardware NAS que serão utilizados como comparativo de investimento da aquisição de um equipamento

Quadro 01: Storage DELL NX440

Item	Descrição
Processador	Intel Xeon E-2124 3,3Ghz 4 Núcleos / 4 Threads
Disco Rígido	(x4) 4TB, 6Gbit/s 7200 RPM
LOM	Broadcom 2 portas 1Gbit
Fonte Alimentação	Dupla redundante 350W
Gerenciamento	IDRAC9 Enterprise
Sistema Operacional	Windows Storage Server 2016 Standard
Garantia	01 ano com o fabricante (Com upgrade para até 05 anos)

Fonte: O autor (2021)

No quadro 02, o descritivo de um servidor de entrada marca DELL com configuração de hardware e armazenamento similar, no quadro 03 estão descritos os valores dos dois equipamentos, importante ressaltar que o modelo T440 não é um equipamento STORAGE e foi orçado sem sistema operacional, porém pode ser adaptado para esta função com a instalação do sistema TrueNAS com a vantagem de receber upgrade com interfaces de comunicação SFP+ 10Gbits e custando uma fração de hardwares mais robustos da mesma marca, com o mesmo tipo de conectividade.

Outro fator a ser considerado é de que o sistema TrueNAS em uso com o sistema de arquivos ZFS é diretamente dependente da quantidade de memória alocada para o gerenciamento dos acessos de leitura e escrita, com requisitos

mínimo de 8GB de memória RAM, desta forma foram orçados dois módulos de 08 GB cada no modelo T440.

Quadro 02: Servidor DELL T440

Item	Descrição
Processador	Xeon Bronze 3204 1,9Ghz - 6 Núcleos / 6 Threads
Disco Rígido	(x4) 4TB, 6bit/s 7200 RPM
Memória	(x2) 8GB RDIMM 3200 MT/s
LOM	Broadcom 2 portas 1Gbit
Controladora RAID	PERC H330
Armazenamento	(1x) SSD SATA 480GB + (4x) 4TB 6Gbit/s 7200 RPM (R\$ 3113,00)
Fonte Alimentação	Dupla redundante 350W
Gerenciamento	IDRAC9 Enterprise
Sistema Operacional	Sem sistema operacional
Garantia	01 ano com o fabricante (Com upgrade para até 05 anos)

Fonte: O autor (2021)

A Tabela 02 compara o storage da marca DELL em arquitetura proprietária um servidor “comum” de entrada também da marca DELL, utilizando interfaces de Gigabit, 04 discos SATA de 4 Terabytes, utilizando o TrueNAS como sistema operacional no gerenciamento do armazenamento.

Tabela 02: comparativo de preços: NAS dedicado vs TrueNAS montado (T440)

HARDWARE	MODELO	DISCOS	REDE	VALOR
Storage	DELL NAS NX440	(x4) 4TB SATA 7200rpm	1Gb Ethernet	R\$ 42.121,00
Servidor	DELL T440	(x4) TB SATA 7200 rpm	1Gb Ethernet	R\$ 15,583,00
Diferença Total:				R\$ 26.538,00

Fonte: O autor (2021)

Diante dos valores acima apresentados, a diferença de investimento entre os dois equipamentos é considerável, o montante economizado pode ser direcionado

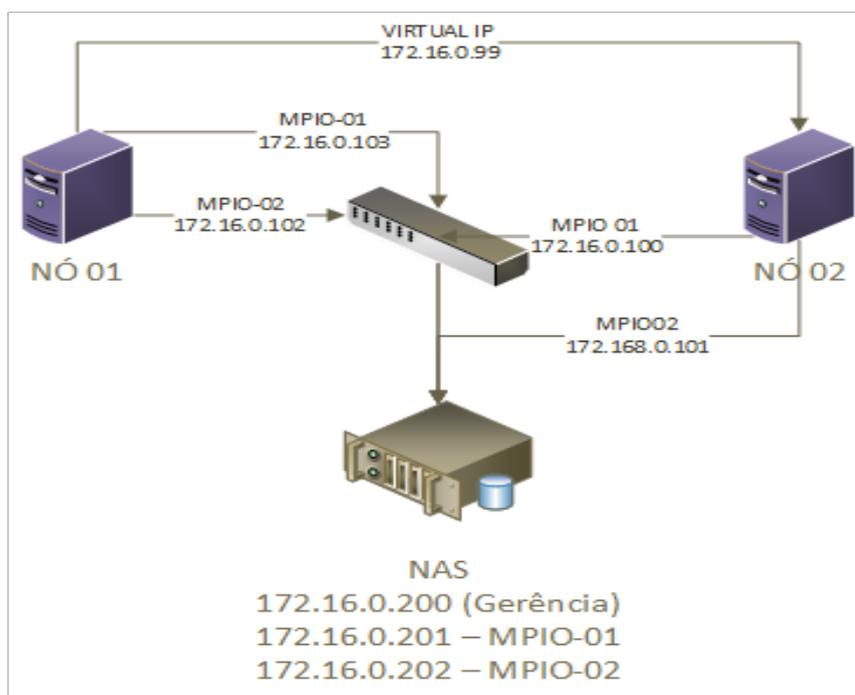
para upgrades de garantia, aquisição de interfaces de rede 10Gbit, compra de drives SSD ou mais memória.

Desta forma um projeto utilizando um servidor adequado com o uso do TrueNAS torna-se uma opção muito interessante do ponto de vista econômico, a economia pode ser ainda maior se a empresa já possuir um hardware em que o TrueNAS pode ser instalado.

2.10 - ARQUITETURA DO AMBIENTE E VALIDAÇÃO DOS TESTES

Para demonstrar a eficácia do experimento na entrada e saída de dados mantendo a disponibilidade de acesso em caso de falhas, foi utilizado uma estrutura de *cluster* Microsoft, executado no sistema operacional Microsoft Hyper-V Server 2019. A utilização desta versão do virtualizador Microsoft é uma alternativa de baixo custo pois pode ser utilizada sem aquisição de licenciamento é utilizada apenas como *host* de virtualização. O custo existe apenas caso sejam virtualizadas versões “Server” do Windows. Máquinas virtuais Linux podem ser instaladas sem custo adicional.

Figura 07: Representação do ambiente proposto



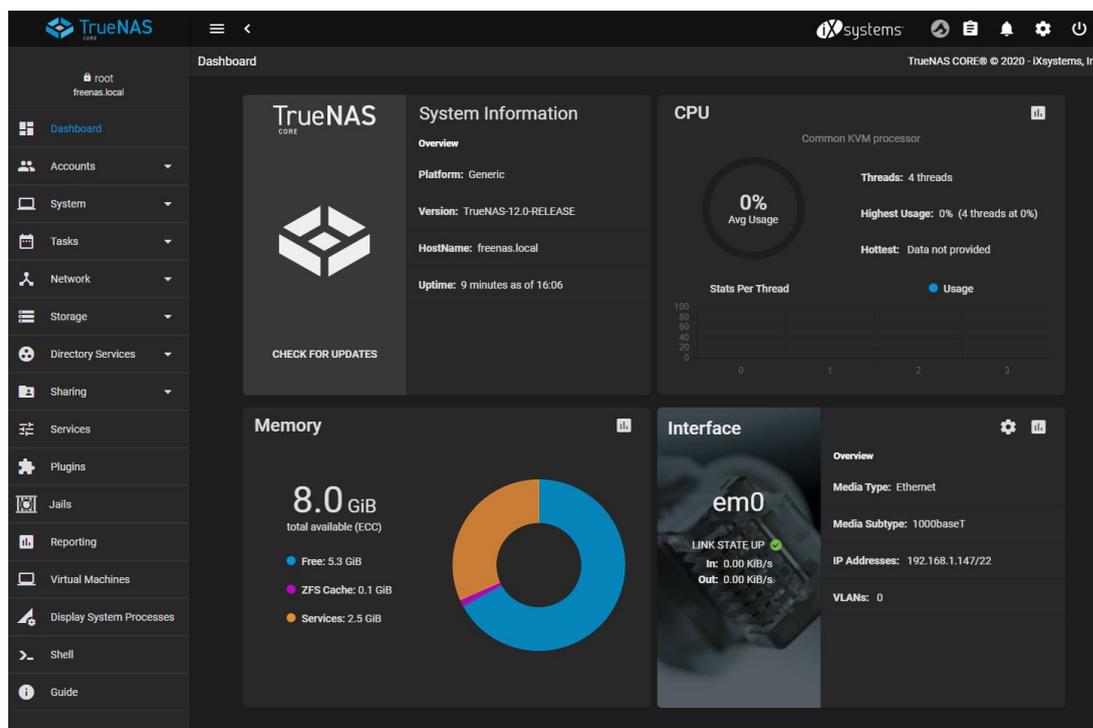
Fonte: O Autor (2021)

A Figura 07 representa o ambiente proposto e descreve dois nós de processamento e um *storage* NAS interligados por um switch de comunicação em rede. Cada nó deve possuir ao menos duas interfaces de rede com a finalidade de prover redundância, bem como balancear a carga dos acessos.

Para a criação do ambiente necessário para a realização dos testes foram utilizados dois servidores físicos que serviram como nós do *cluster* e hospedeiros de máquina virtual, cada qual com a seguinte configuração: AMD FX 6300 - 3.5Ghz com 8GB de memória RAM, discos rígidos de 500 *Gigabytes*, o sistema operacional utilizado foi o Microsoft Hyper-V Server 2019 os quais foram inseridos à um controlador de domínio Microsoft. Também foram instalados recursos adicionais no sistema operacional para o funcionamento do *cluster*: Failover Clustering, MPIO (Multipath Input / Output), File and Storage Services e Virtualização Hyper-V.

O terceiro servidor foi instalado com o sistema operacional TrueNAS Core 12.0 U4 para servir como centralizador de dados, para tal utilizou-se um computador Intel Pentium Dual Core 2.3Ghz com 08 GB de memória RAM e três discos rígidos de 500GB em RAID-Z2. Este servidor atuou com a função de NAS na apresentação dos volumes compartilhados entre os nós do *cluster*.

Figura 08 - Interface de gerenciamento do TrueNAS



Fonte: iXsystems, 2020

Para que isto fosse possível foi necessário configurar os volumes de disco no *storage* NAS, as interfaces de rede com os respectivos endereços IP necessários para a comunicação, bem como habilitar o serviço de iSCSI e as configurações necessárias de apresentação de volume para que cada nó do *cluster* pudesse “enxergar” o volume compartilhado como um disco único entre os dois servidores.

Importante ressaltar que um dos requisitos para o correto funcionamento do sistema, cada nó deve possuir ao menos duas interfaces de rede, visando redundância de acessos, o mesmo vale para o *storage*, que conforme recomendações de fabricantes e guias de boas práticas, deve possuir uma interface de comunicação exclusiva para gerenciamento, e mais duas interfaces para comunicação direta entre os nós e o *storage*.

Figura 09 - Resultados dos testes de validação do Cluster

Validate a Configuration Wizard

Summary

Before You Begin
Select Servers or a Cluster
Testing Options
Confirmation
Validating
Summary

⚠ Testing has completed for the tests you selected. To confirm that your cluster solution is supported, you must run all tests. A cluster solution is supported by Microsoft only if you run all cluster validation tests, and all tests succeed (with or without warnings).

Validate SCSI device Vital Product Data (VPD)	Success
Validate SCSI-3 Persistent Reservation	Success
Validate Simultaneous Failover	Success
Validate Software Update Levels	Success
Validate Storage Spaces Persistent Reservation	Success
Validate System Drive Variable	Success
Validate Windows Firewall Configuration	Success
Results by Category	
Hyper-V Configuration	Success
Inventory	Success
Network	Success
Storage	Success
System Configuration	Success
Result Summary	
Testing has completed for the tests you selected. To confirm that your cluster solution is supported, you must run all tests. A cluster solution is supported by Microsoft only if you run all cluster validation tests, and all tests succeed (with or without warnings).	

Create the cluster now using the validated nodes...

To view the report created by the wizard, click View Report.
To close this wizard, click Finish.

View Report...

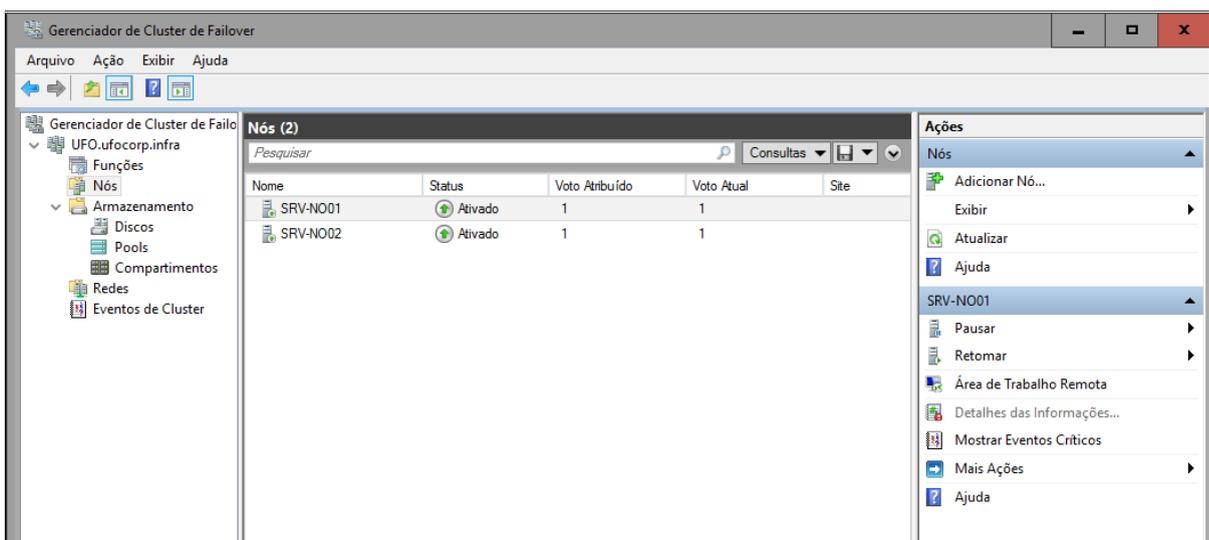
Finish

Fonte:O autor (2021)

Completadas as configurações, foi executada a ferramenta de validação que verifica todos os pré requisitos para a criação de um *cluster* Microsoft. Este serviço é responsável pelo gerenciamento dos acessos ao IP virtual do *cluster* e o redirecionamento de requisição aos nós escravos em caso de falhas de comunicação ou hardware.

Após a criação do *cluster* foi realizada a criação de uma máquina virtual e adicionada como função no *cluster* para monitoramento, logo após, foi simulada uma falha física, desligando o nó “SRV-NO01” da energia e pode-se notar que o sistema identificou a inatividade deste servidor, iniciando a migração da máquina virtual em execução para “SRV-NO02” restabelecendo a comunicação e validando assim a solução proposta.

Figura 10 - Interface de gerenciamento do cluster



Fonte:O autor (2021)

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O objetivo deste artigo é de caráter aplicado pois gera valor e serviço e pode ser utilizado em um cenário real de uso e visa demonstrar de forma descritiva uma solução de baixo custo que proporciona alta disponibilidade em sistemas computacionais. Quanto a abordagem define-se como qualitativa, haja visto que o ambiente de uso da solução proposta é a fonte de interpretação para os fenômenos.

Quanto aos procedimentos foram utilizadas referências de nível bibliográfico com base em publicações de livros, artigos científicos e manuais técnicos. O método escolhido foi o Estudo de Caso, uma vez que simula-se o funcionamento de um sistema em *cluster* configurado em alta disponibilidade em conjunto com um sistema de armazenamento NAS, e objetiva demonstrar de forma exploratória, através de informações obtidas, os conceitos aplicados à eficácia da solução proposta.

3.1 AMBIENTE DA PESQUISA

O experimento foi executado em um cenário de testes isolado, em ambiente doméstico do autor, o ambiente de questão contempla 03 servidores, dois deles foram instalados com o sistema operacional Windows Server e configurados com o recurso Windows *Cluster Services*, o computador restante foi utilizado com o sistema operacional TrueNAS e configurado como *storage* compartilhado entre os dois nós do *cluster*. Todos os servidores foram interligados em rede através de um switch categoria 6 visando a maior performance possível com os equipamentos disponíveis.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa aplicada consistiu em determinar se a solução proposta tem resultados válidos em um cenário de produção real, de uma pequena empresa que necessita de um sistema de alta disponibilidade mas não possui capital para altos investimentos, para evidenciar a eficácia foram utilizados servidores “de entrada” ou seja, de custo baixo e sistemas operacionais de código livre ou sem custo de licenciamento.

O cenário de testes foi dividido em cinco etapas, cada uma destas etapas foi dividida sequencialmente para melhor entendimento.

A primeira etapa tratou-se da instalação do sistema TrueNAS em uma das máquinas, após isto, foi realizada a conexão física da rede.

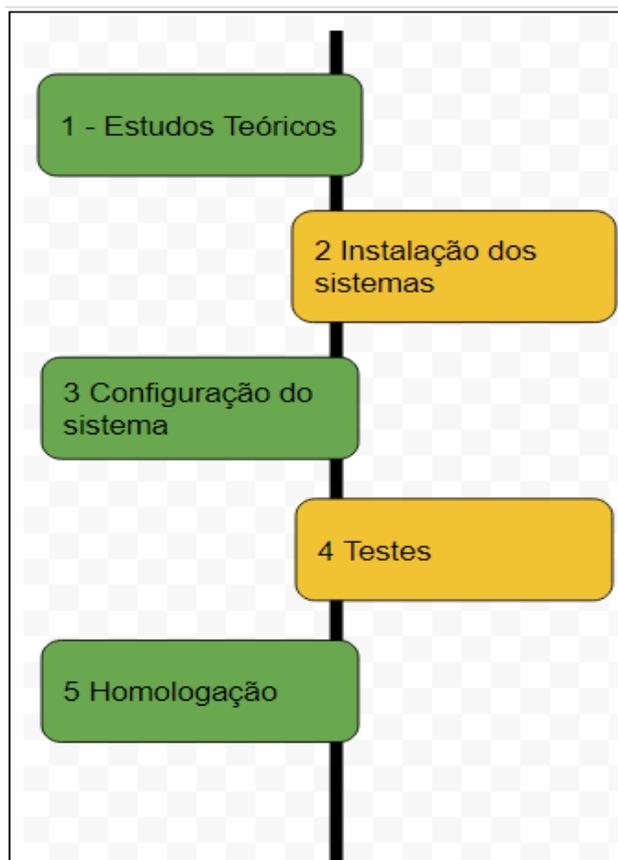
A segunda etapa consistiu em realizar a configuração lógica entre os servidores Windows *Cluster* e o servidor de NAS, quando foi efetivado o primeiro teste de comunicação lógico entre as máquinas.

Após a conexão, foi dado início a terceira etapa que compreendeu a configuração do arranjo dos discos no servidor TrueNAS com um sistema de RAID-Z e comunicação através do protocolo iSCSI, este servidor foi definido como ponto central de armazenamento entre os dois nós de *Windows Cluster* e foi item fundamental para que o sistema funcionasse da forma pretendida, ou seja, proporcionar alta disponibilidade.

Na quarta etapa foram realizados testes que envolvem o desligamento físico de um dos servidores, bem como o registro do processo de recuperação do nó ativo do *cluster* para o próximo hardware físico disponível.

Este teste teve o objetivo de verificar se o sistema do *cluster* identificaria a indisponibilidade de um nós e iniciaria o processo de migração dos serviços virtualizados, proporcionando assim, alta disponibilidade ao ambiente.

Figura 05 - Etapas da pesquisa



Fonte: O autor (2021)

Por último foram realizados os processos de homologação, repetindo-se os testes de desligamento, por 8 vezes consecutivas e observando-se o tempo de

migração em cada desligamento. O tempo médio de recuperação e migração dos serviços foi calculado em 36,125 segundos.

Diante dos resultados apresentados, bem como a homologação do ambiente e o registro dos testes, pode-se comprovar a eficácia da solução proposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da pesquisa aplicada, percebeu-se que a solução do uso do software TrueNAS como sistema de armazenamento aliado ao sistema de *cluster* do Windows Server, foi possível resolver o problema relacionado à falha de servidores que não utilizam este tipo de tecnologia. Caso ocorra alguma falha em um dos nós do *cluster*, o sistema identifica esta falha e automaticamente redireciona as requisições de acesso para o próximo nó disponível.

O uso do sistemas de arquivo ZFS no TrueNAS, como mencionado no capítulo 2 deste artigo, também proporciona maior segurança e confiabilidade ao *cluster* como um todo, haja visto que este sistema de arquivos possui funções nativas de correção e recuperação de dados em casos de falha de energia ou problemas físicos nos servidores.

Por fim pode-se comprovar o comparativo de custos através da Tabela 02, que com o uso do sistema FreeNAS e o Hyper-V Server 2019 foi possível montar um sistema de *cluster* com investimento em hardware consideravelmente menor do quando utilizamos *storages* integrados por grandes fabricantes, uma vez que ao invés de adquirir um hardware NAS “de catálogo”, foi utilizado um servidor “comum” com os mesmos recursos de disco e rede.

Somente cabe reforçar mesmo que este trabalho tenha sido orientado à redução de custos, alguns fatores não podem ser desconsiderados em projetos de uso real e ambientes de produção tais como:

- a. Aquisição de hardware de segmento corporativo sempre que possível devido a construção mais robusta deste equipamentos
- b. Utilizar hardwares novos e em garantia
- c. Atentar-se sempre à segurança dos acessos gerenciais dos servidores e ativos de rede

- d. Monitorar o ambiente: Utilizar ferramentas como Zabbix, o uso de *clusters* não isenta o ambiente de ser monitorado.

Algumas dificuldades apresentadas na montagem deste ambiente foram encontradas, porém não inviabilizaram o projeto. Para tal recomenda-se atenção aos seguintes pontos:

- a. Existe o pré requisito de um serviço de Active Directory previamente configurado e disponível para que o *cluster* Microsoft funcione.
- b. Para que o *cluster* funcione é necessário que o processador de ambos os nós sejam iguais, ou seja, os dois servidores que compõem o nó, devem ser preferencialmente da mesma marca e modelo e possuir mesma quantidade de memória.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Grande parte dos ambientes de alta disponibilidade existentes nas empresas estão baseados em arquiteturas proprietárias que demandam um alto custo de aquisição e manutenção.

Este artigo analisou e comprovou uma alternativa à estas arquiteturas proprietárias, sob a perspectiva do ponto de vista de um gerente de TI ou analista, onde não há orçamento para compra de hardware e software para projetar um ambiente altamente disponível, porém com o uso de software livre (TrueNAS) e uma versão do virtualizador Microsoft Hyper-V 2019 que não possui custo de licenciamento, foi possível disponibilizar um ambiente com o mesmo nível de segurança de projetos muito mais caros.

O *cluster* implementado e testado permite mostrar o impacto desta arquitetura em empresas que pretendam implementar uma solução de alta disponibilidade, uma vez que o tempo de inatividade em caso de falhas é significativamente reduzido, embora tenha sido testado em laboratório, poderia ser perfeitamente utilizado em uma pequena e média empresa com baixo capital de investimento.

Importante lembrar que a implementação de serviços de servidores altamente disponíveis garante um aumento na qualidade dos serviços, gera impactos positivos em produtividade, uma vez que o sistemas estão mais tempo disponíveis aos clientes ou usuários.

Outro fator importante que deve ser considerado é o SPOF (Single Point Of Failure) ou “Ponto único de falha”, que neste artigo em questão é o servidor NAS, em um cenário ideal, o correto seria disponibilizar ao menos dois sistemas NAS em réplica no caso de falha, ao menos dois switches e adaptadores de rede independentes. Este fator vem de encontro à análise de custo x benefício uma vez que, quanto maior o nível desejado de disponibilidade, maiores serão os investimentos.

Ao fim deste trabalho foi possível demonstrar de fato conclusivo que é possível implementar um mecanismo de alta disponibilidade sem o uso de equipamentos caros de forma simples e confiável.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se um estudo sobre alta disponibilidade em sistemas de nuvem e containers com orquestração por Kubernetes, tecnologia que já é realidade em grandes empresas e startups, mas que ainda é pouco conhecida em empresas de pequeno porte que não fazem uso de tecnologia de nuvem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha estimada e amada mãe Otilia Raymundo Arndt (in memoriam) por ter me ensinado a sempre lutar por meus objetivos e os valores de uma vida digna e correta, pelo amor e companhia constantes e incondicionais em tempos bons e difíceis e pelo valor do esforço do trabalho, edificando meu caráter e seguindo presente em minha vida, mesmo que de forma espiritual.

Agradeço à minha namorada Joyce Martins pelo companheirismo, paciência e por ter me incentivado a não desistir nunca, pela cumplicidade em meio a tantas dificuldades. Meu professor orientador Mehran, por lembrar de mim, mesmo distante, e também por me incentivar a concluir este trabalho bem como a dedicação em me orientar.

Agradeço também a todos os professores que contribuíram para minha formação e meus amigos pelo incentivo, apoio e companheirismo desde o início de minha graduação.

REFERÊNCIAS

- A. AVIZIENIS J, et. al. **Fundamental Concepts of Dependability**. Technical Report 739. Department Of Computing Science. University Of Newcastle upon Tyne, 2001
- ALKALAI, Avi. **Nos domínios da paravirtualização**, 2007 - Technology Leadership Council(<http://avi.alkalay.net/articlefiles/2007/06/tlc-br-mini-paper-paravirtualizacao.pdf>) - Acesso em 14 de abril. 2021
- COMER, D. **Interligação de Redes com TCP/IP - Princípios Protocolos e Arquitetura: Volume 1 (Português)**, 2007
- COULOURIS, G.; DOLLIMORE Jean; KINDENBERG Tim. **Sistemas Distribuídos – Conceitos e Projeto**. Porto Alegre, Bookman Editora, 2007.
- GERMAIN, Jack M. **Whither OpenSolaris? Illumos Takes Up the Mantle** (<https://linuxinsider.com/story/whither-opensolaris-illumos-takes-up-the-mantle-76669.html>) Acesso em 05 de julho. 2021
- HAGEN, W, Von. **Professional XEN Virtualization, WROX** – Winley Publishing, Inc 2009.
- HEATH, Steve; **Embedded Systems Design**. Burlington, MA USA: Newnes, 2003
- iXsystems. The History of FreeNAS & TrueNAS (<https://www.ixsystems.com/blog/the-history-of-freenas-truenas/>) Acesso em 04 de maio. 2021
- LEAL, Marcelo. **ZFS - Para usuários Open Source**, 1ª Edição - Editora Brasport, 2010 (<https://books.google.com.br/books?id=4HlIcodtIXfIC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>) Acesso em 15 de abril. 2021
- LEHMANN, Friedrich Wilhelm. **Linux implementation for the ISP & data center**. Lulu Press, 2007
- MACHADO, Francis Berenger. MAIA, Luiz Paulo. **Arquitetura de Sistemas Operacionais**. 4ª ed. Editora LTC,São Paulo, 2007.
- MAGALHÃES, Ivan Luizio; PINHEIRO, Walfrido Brito. **Gerenciamento de Serviços de TI na Prática: uma abordagem com base no ITIL**. São Paulo, Novatec Editora, 2007.
- MARLIN, John. **Deploying a two-node clustered file server**, 2021 (<https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/failover-clustering/deploy-two-node-clustered-file-server>) - acesso em 15 de maio, 2021
- MATZAN, Jem. **The FreeBSD 6.2 Crash Course**, O'Reilly Media, Inc. 2007

(https://books.google.com.br/books?id=2gD2bgRns_kC&printsec=frontcover&source=gbs_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) Acesso em 02 de maio. 2021

PEREIRA FILHO, N. A. **Serviços de Pertinência para Clusters de Alta Disponibilidade**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Matemática e Estatística, São Paulo: USP, 2004.
(<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45134/tde-04102004-104700/pt-br.php>) Acesso em 03 dezembro. 2020.

PIEDAD, Floyd; HAWKINS, Michael W. **High availability: design, techniques, and processes**. Prentice Hall Professional, 2001.

RAGGI, Emilio, Thomas, Keir, Parsons, Trevor, Channelle, Andy, van Vugt, Sander **Beginning Ubuntu Linux**, Quinta Edição. Springer Science+Business Media, 2010

REDHAT, **Como funciona um Storage NAS ?**. 2020
(<https://www.redhat.com/pt-br/topics/data-storage/network-attached-storage>) Acesso em 14 de abril. 2021

SABOOWALA, Huseni; ABID, Muhammad; MODALI, Sudhir. **Designing Networks and Services for the Cloud: Delivering business-grade cloud applications and services**, Cisco Press, 2013.
(https://play.google.com/books/reader?id=nlvFWcQewq8C&pg=GBS.PA4.w.4.0.27_111) Acesso em 05 de julho. 2021

STALLINGS, W. **Arquitetura e organização de computadores**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SHELBY, Gaby B.; VERMAAT, Misty E. **Discovering Computers Complete: Your Interactive Guide to the Digital World**. Cengage Learning. 2012

STALLMAN, Richard. **Linux e o Sistema GNU**
(<https://www.gnu.org/gnu/linux-and-gnu.html>) Acesso em 05 de julho, 2021

TANENBAUM, Andrew S; STEEN, Maarten van. **Distributed Systems - Principles and Paradigms**. Upper Saddle River, Prentice Hall, 2002

TANENBAUM, Andrew S; BOS, Herbert, **Sistemas Operacionais Modernos**. 4ª ed. Pearson Education, 2016

UBUNTU, **Server Guide** (<https://ubuntu.com/server/docs/package-management>) Acesso em 03 de maio. 2021