

Sincronização de Arquivos entre Nuvens de Armazenamento e Repositórios Geograficamente Distribuídos

Gil Andriani, Guilherme Koslovski, Mauricio A. Pillon

¹Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada (PPGCA)
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC - Joinville, SC - Brasil

gil.andriani@gmail.com, {guilherme.koslovski, mauricio.pillon}@udesc.br

Resumo. *Provedores de nuvens computacionais difundiram sistemas de armazenamento dinâmicos, entregues aos usuários finais como serviços acessíveis sob-demanda. Especificamente, o armazenamento de arquivos alcançou popularidade em ambientes domésticos. Entretanto, os requisitos de acesso, as expectativas de desempenho e as características de utilização são distintas para organizações, fato não considerado pelos aplicativos populares para sincronização de arquivos entre provedores e repositórios locais. Nesse contexto, esse artigo apresenta CHSAN, uma arquitetura para sincronização de arquivos entre armazenamento na nuvem e repositórios geograficamente distribuídos. Os resultados experimentais indicam uma aplicação promissora em ambientes com usuários colaborativos geograficamente distribuídos.*

Abstract. *Cloud Computing providers had spread the dynamic storage provisioning, delivered to end users as on-demand services. Although file storage and share achieved popularity among domestic users, access requirements, performance expectations and usage characteristics are different for organizations, and were not originally considered by popular application for synchronizing files between providers and local repositories. In this context, this paper introduces CHSAN, an architecture for synchronizing files between cloud storage and repositories geographically distributed. The experimental results indicate a promising application in collaborative environments with geographically distributed users.*

1. Introdução

As nuvens computacionais revolucionaram a utilização de recursos de processamento, comunicação e armazenamento, entregando essas funcionalidades aos usuários como serviços sob-demanda [Zhang et al. 2010]. A adoção de armazenamento na nuvem, sobretudo, é uma realidade para usuários domésticos. O armazenamento, a edição e o compartilhamento de arquivos foram popularizados pela difusão de clientes para sincronização (e.g., DropBox¹, Google Drive² e OneDrive³) de arquivos com repositórios hospedados em nuvens computacionais.

O armazenamento na nuvem fornece aos seus usuários maior disponibilidade aos dados [Drago et al. 2012], entretanto, essas ferramentas foram concebidas com foco em usuários domésticos. Gonçalves [Gonçalves et al. 2014] identificou o perfil destes usuários

¹DropBox, disponível em <https://www.dropbox.com/>.

²Google Drive, disponível em <https://www.google.com/drive/>.

³Microsoft OneDrive, disponível em <https://onedrive.live.com/>.

em campi, apontando o tamanho médio dos repositórios como 4, 23 GB, sendo que a maioria dos usuários tende a armazenar muitos arquivos (mais de 1.000 arquivos), incluindo usuários com mais de 20.000 arquivos armazenados. Referente à dinâmica de atualização, foi observado que cerca de 82% das operações de atualização carregam até 1 MB, caracterizando uma concentração de uso sobre arquivos pequenos. Ainda, a maioria das sessões de conexão entre aplicativos clientes e provedores (85% das sessões) não tem nenhuma transferência significativa de arquivos.

Embora populares, os clientes de sincronização de arquivos na nuvem não atendem aos requisitos específicos de organizações com múltiplos usuários colaborativos geograficamente distribuídos, concentrados em redes privadas e sistemas de armazenamento legados [Smith et al. 2013][Drago et al. 2012]. Diferente dos usuários domésticos, em organizações ocorre a interação em projetos: diversos usuários atuam em arquivos compartilhados, como planilhas de dados, sistemas de armazenamento e gerenciamento de tarefas empresariais. Os grupos de usuários colaborativos são usualmente dinâmicos e temporários, formados espontaneamente segundo interesses profissionais ou pessoais. Organizações com múltiplos usuários colaborativos geograficamente distribuídos tendem a formar grupos colaborativos concentrados em redes privadas e geograficamente distribuídas. É comum a existência de uma conexão dedicada e privada para tráfego de dados sobre redes metropolitanas.

Quanto aos sistemas de armazenamento legados, tradicionalmente, organizações com múltiplos usuários dispõem de tecnologias acessíveis em redes privadas, desenvolvidas sobre soluções *Network File System (NFS)*, *Common Internet File System (CIFS)* ou *Server Message Block (SMB)*. A existência destes recursos é fator limitante para a migração de soluções para a nuvem, sendo parcialmente responsável pelo fato de 45% das organizações não terem previsão para migração de qualquer serviço para nuvens computacionais [Smith et al. 2013]. A latência no acesso aos arquivos é um ponto crítico para a utilização do sistema.

As ferramentas de sincronização mantêm o conteúdo do usuário sincronizado com o armazenamento na nuvem, realizando cópias sincronizadas do conteúdo compartilhado a cada acesso para cada dispositivo. Este não é um fator limitante para os usuários domésticos, pois usualmente a capacidade de seu espaço virtual é semelhante (ou inferior) ao espaço em seus dispositivos pessoais. Entretanto, o conteúdo compartilhado entre equipes de uma organização facilmente supera o espaço individual das estações de trabalho. Os repositórios de dados disponíveis nestas organizações, normalmente, possuem capacidade de armazenamento superior a capacidade do disco local das estações de trabalho [Douceur and Bolosky 1999]. No caso do armazenamento em nuvem, o acesso à totalidade dos dados fica restrito à disponibilidade de armazenamento do dispositivo com menor capacidade. Assim, a colaboração entre os usuários do grupo depende dos arquivos selecionados para sincronização, atualmente, sob responsabilidade do próprio usuário. Quando colaborando, os usuários devem reconfigurar os repositórios locais.

Ainda, o amplo acesso à rede através da mobilidade e da concentração de profissionais em um mesmo local, são fatores conflitantes. Por um lado, a disponibilidade de acesso aos dados de qualquer lugar permite maior interação e colaboração entre as equipes, por outro lado, a concentração de profissionais em um mesmo local acessando o mesmo volume de dados na nuvem pode sobrecarregar os pontos de acesso à Internet das organizações, além de aumentar o tempo de acesso aos arquivos.

Considerando a lacuna quanto à manutenção das funcionalidades dos sistemas de armazenamento legados e as soluções para compartilhamento de arquivos na nuvem que impedem parcialmente a ampla utilização das nuvens computacionais por parte organizações, este trabalho apresenta a arquitetura do CHSAN (Cliente Híbrido para Sincronização de Arquivos em Nuvem). A arquitetura proposta aplica técnicas já consolidadas em armazenamento distribuído no contexto de sincronização com nuvens de armazenamento. Esta abordagem híbrida contorna as limitações de capacidade com o uso de armazenamento local, hierárquico e seletivo. O limite de escalabilidade é atenuado com a introdução de um mecanismo que reduz o número de consultas ao repositório da nuvem. Ainda, CHSAN permite a indexação de todo o sistema de arquivo da nuvem. O arquivo pode estar no disco local, em um sistema distribuído na rede interna ou na nuvem. A análise experimental concentrou-se em dois cenários, (i) avaliação do impacto no desempenho de operações sobre arquivos no acesso ao repositório de metadados e (ii) avaliação do desempenho das operações em arquivos compartilhados localizados unicamente na nuvem. Embora a arquitetura acrescente módulos para a combinação de repositórios locais e na nuvem, o tempo necessário para sincronização não foi significativamente acrescido quando comparado a soluções existentes.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o problema relacionado com a sincronização de arquivos. A arquitetura CHSAN é apresentada na Seção 3, enquanto a análise experimental é discutida na Seção 4. Os trabalhos relacionados são revisados na Seção 5, e finalmente na Seção 6 apresenta as considerações finais e perspectivas para trabalhos futuros.

2. Sincronização de Arquivos em Nuvens: Conceitos e Problemática

O cenário de nuvens computacionais, armazenamento e compartilhamento de arquivos, compreende dois atores principais: os repositórios de armazenamento e os clientes de sincronização. O repositório é usualmente composto por módulos para notificação, indexação e interface de operação, sendo implementado como um sistema de arquivos distribuídos que assegure disponibilidade, autenticidade, confidencialidade e posse. É comum a disponibilização de serviços para controle de versionamento, quotas de compartilhamento e edição colaborativa.

Por sua vez, um cliente de sincronização de arquivos é responsável por manter uma determinada estrutura de diretórios e de arquivos em sincronia com o repositório da nuvem. Em suma, o controle é realizado por sincronizadores e observadores, que atuam sobre os metadados relacionados com os arquivos. Existem dois observadores (local e nuvem), responsáveis por identificar alterações nos arquivos. Quando necessário, um módulo sincronizador realiza a transferência dos arquivos (parcial ou total) entre os repositórios. Algumas funcionalidades comuns são encontradas em clientes populares como sincronização incremental, criptografia e compressão de dados. Ainda, estratégias de otimização foram aplicadas para diminuir o volume de dados trafegados entre os repositórios de armazenamento e os clientes de sincronização (eg., DropBox LanSync⁴).

Há alguns anos, clientes de sincronização de arquivos na nuvem estão difundidos entre usuários domésticos, atendendo satisfatoriamente suas necessidades. Recentemente, provedores de armazenamento na nuvem passaram a oferecer serviços voltados para organizações, com maior capacidade de armazenamento do que os pacotes para usuários

⁴DropBox LanSync disponível em <https://www.dropbox.com/en/help/137>.

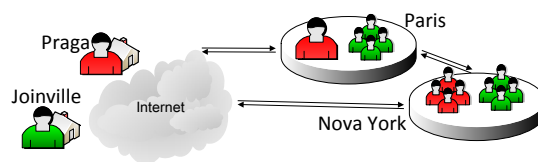


Figura 1. Ambiente organizacional com múltiplos usuários colaborativos.

domésticos [Naldi and Mastroeni 2013]. No entanto, ambientes organizacionais são constituídos por múltiplos usuários que colaboram em projetos comuns, muitas vezes em ambientes geograficamente distribuídos concentrados em redes privadas. Na Figura 1 tem-se um cenário, onde a organização descrita possui dois grupos: os usuários em vermelho e os em verde, situados fisicamente nas cidades de Nova York, Paris, Joinville e Praga. Esta organização tem dois escritórios físicos, localizados em Nova York e Paris, onde concentram-se o maior número de colaboradores que interagem por meio de redes privadas interligadas. Em Joinville e Praga encontram-se dois usuários geograficamente distantes dos escritórios que colaboram com seus grupos via Internet. Portanto, esta organização possui múltiplos usuários geograficamente distribuídos, concentrados em Nova York e Paris, conectados entre si via redes privadas e Internet, que colaboram pelo uso do compartilhamento de arquivos.

O compartilhamento de arquivos entre estes usuários pode ser efetuado via sistemas de armazenamento privado, desenvolvidos sobre soluções NFS, CIFS ou SMB. Estas soluções são usualmente empregadas em redes privadas locais ou ambientes geograficamente distribuídos, interconectados com enlaces dedicados. Os sistemas de armazenamento privado contemplariam a colaboração entre os usuários de Paris e de Nova York. No entanto, esta escolha não permitiria a integração dos usuários de Joinville e Praga, pois eles estão fora da rede privada com uma conexão Internet. Para estes usuários, uma alternativa viável remete ao armazenamento em nuvem computacional. O conteúdo compartilhado na nuvem é sincronizado nos discos locais de cada cliente. Para que a sincronização ocorra, é necessário que a quantidade de dados a ser copiada seja inferior a menor unidade de armazenamento envolvida: limitado em função do cliente ou limitado em função do espaço de armazenamento disponível na nuvem. Normalmente, essa limitação de capacidade encontra-se nas estações de trabalho. É comum a existência de organizações em que uma estação de trabalho possui unidades de armazenamento na ordem de centenas de gigabytes, enquanto o armazenamento em nuvem está na ordem de centenas de terabytes [Katzer and Crawford 2013].

Nos clientes populares, existe a possibilidade de escolher quais diretórios serão sincronizados. Entretanto, com múltiplos arquivos e usuários, a elaboração e manutenção de uma hierarquia de compartilhamento seletiva não é uma tarefa trivial. Ainda, a sincronização seletiva, da forma como foi implementada pelos clientes de sincronização, fere o amplo acesso difundido pelo armazenamento em nuvem [Mell and Grance 2011]: o recurso permanece disponível no repositório de armazenamento, mas as funcionalidades de gerenciamento e utilização locais não podem ser aplicadas.

Quanto à distribuição geográfica dos usuários, as organizações compartilham o mesmo ponto de acesso à Internet com diversos usuários internos. No cenário descrito na Figura 1 observa-se usuários concentrados em redes privadas interligadas nas cidades de Nova York e de Paris. Nesse cenário, a utilização do serviço pode ser limitada em função da quantidade de dados a ser escrito na nuvem frente à quantidade de clientes que neces-

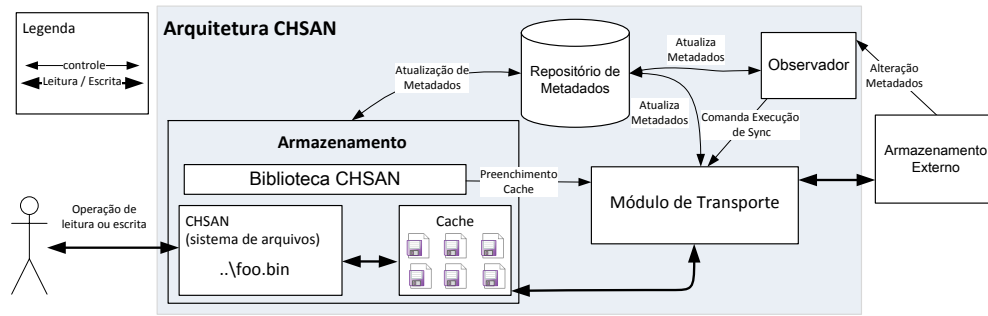


Figura 2. Arquitetura do cliente híbrido de sincronização de arquivos CHSAN.

sita compartilhar a mesma informação. Ainda, é comum que conjuntos de arquivos sejam compartilhados, e usualmente, existe um canal de comunicação dedicado para tráfego de informações sobre redes metropolitanas. A escolha do armazenamento na nuvem para este cenário, implicaria no aumento da latência no acesso aos arquivos compartilhados entre usuários de Paris e Nova York. A junção dessas características (modelo de sincronização explorado pelos clientes, concentração de usuários com os mesmos documentos compartilhados e existência de canais dedicados) faz com que as ferramentas de sincronização em nuvem, nestes ambientes, tenham percentuais de adoção inferiores aos observados com usuários domésticos [Smith et al. 2013]. A aplicação de clientes de sincronização desenvolvidos para usuários domésticos não atende às necessidades de ambientes organizacionais. As principais barreiras arquiteturais encontradas são: (i) ausência de integração com sistemas de armazenamento privado; (ii) necessidade de cópia local de todos os arquivos compartilhados; e (iii) latência de sincronização entre arquivos da nuvem e repositórios locais.

3. Arquitetura CHSAN

A arquitetura do Cliente Híbrido para Sincronização de Arquivos em Nuvem (CHSAN), resumida na Figura 2, está alinhada com os principais clientes de sincronização de arquivos na nuvem disponíveis à comunidade. Os módulos comuns em suas arquiteturas (armazenamento, transporte, observador e repositório de metadados) [Houston and Ferdowsi 2014] [Besen et al. 2015] foram estendidos por CHSAN.

No módulo de armazenamento, incorporou-se um sistema de arquivos virtual e *cache* seletiva, enquanto o módulo de transporte foi adaptado para encaminhar dados a um armazenamento externo legado (além dos repositórios da nuvem). O sistema de arquivos virtual permite que o cliente tenha acesso à totalidade dos índices dos arquivos armazenados na nuvem, mesmo sem nunca tê-los sincronizado em sua integralidade. Assim, embora o volume de armazenamento disponível seja inferior ao total necessário, o cliente ainda tem conhecimento sobre a existência de todos os arquivos e informações referentes às alterações realizadas. Esse ponto diferencia CHSAN dos clientes tradicionais que informam a existência de arquivos somente quando sincronizados com o repositório principal. A *cache* seletiva agiliza o acesso aos dados mais usados pelo cliente (atuando no requisito de latência de acesso). Dispositivos legados, como *Network Attached Storage* (NAS), recebem informações do módulo de transporte, como opção para minimização do uso do enlace à Internet e alternativa para comunicação em enlaces dedicados.

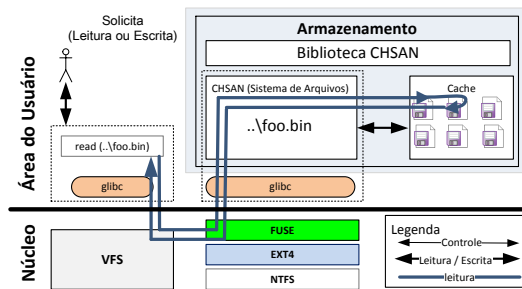


Figura 3. Visão detalhada do módulo de armazenamento CHSAN.

Para aplicativos finais, a existência de CHSAN é transparente (aplicativos utilizam a interface padrão do sistema operacional). Os módulos e o fluxo de dados são individualmente discutidos na sequência.

3.1. Armazenamento

O módulo de armazenamento do CHSAN é responsável pela apresentação do sistema de arquivos bem como pelas operações de leitura e gravação, combinando sistema de arquivos virtuais (VFS – *Virtual File System*) com FUSE (*Filesystem in Userspace*) para criar um sistema de arquivos customizado em espaço de usuário, sem a necessidade de intervenção no núcleo. O módulo é constituído de: (i) espaço de armazenamento local; *cache*, alimentada de forma seletiva; (ii) biblioteca de acesso, que disponibiliza funções para consulta, escrita e leitura de arquivos; e (iii) sistema de arquivos CHSAN, que exporta para o sistema operacional uma estrutura de diretórios e arquivos como uma unidade de disco local. Tal exportação é análoga, do ponto de vista de funcionalidade e compatibilidade, à estrutura de diretórios dos clientes de sincronização de arquivos em nuvem.

Na Figura 3 é representado o fluxo de uma operação submetida por um aplicativo usuário. Na parte inferior da figura, modo núcleo, têm-se os módulos VFS e FUSE e, na parte superior, área do usuário, o aplicativo do cliente, a biblioteca *glibc* e o CHSAN. O fluxo é iniciado pelo aplicativo do cliente que gera a operação em um arquivo. Esta solicitação, ainda na área do usuário, utiliza da biblioteca padrão do sistema para acesso a arquivos locais, neste caso, *glibc*. Através desta biblioteca, a solicitação é encaminhada ao modo núcleo processada pelos módulos VFS e FUSE, assim como acontece com operações de outros sistemas de arquivos (*e.g.*, EXT4 e NTFS). O módulo de armazenamento CHSAN, quando acionado, interage com o repositório de metadados por meio desta biblioteca e identifica a localização do arquivo solicitado, caso ele exista, ou provoca a criação de um novo índice no repositório de metadados. O fluxo de retorno do conteúdo somente é iniciado se o arquivo estiver na *cache* local. Caso contrário, o módulo de armazenamento aguarda até que o conteúdo seja copiado localmente. A transferência do conteúdo solicitado à *cache* local é responsabilidade do módulo de transporte auxiliado pelo módulo observador.

3.2. Módulos Observador e Transporte

O módulo observador tem como objetivo a execução regular de tarefas assíncronas para atualizar a base local de metadados frente às alterações detectadas nos repositórios de armazenamento da nuvem. Estas atualizações são realizadas nos índices do sistema de arquivos do CHSAN, invalidando, quando necessário, as entradas na *cache*. Além disso, o módulo observador solicita o *upload* para o armazenamento externo (NAS ou repositório da nuvem)

quando existe alguma entrada pendente no repositório de metadados. É importante ressaltar que CHSAN não foi concebido para ser utilizado sem o armazenamento em nuvem, uma vez que este é base para a composição e manutenção dos metadados.

O módulo de transporte do CHSAN diferencia-se das arquiteturas tradicionais de sincronização, pois, uma vez parametrizado, pode interagir com diferentes repositórios externos (provedores de nuvem ou repositórios legados). Cabe a ele a identificação do repositório com menor latência e a transferência dos arquivos remotos para a *cache* local. Assim, o usuário pode estar conectado na rede privada da organização e recuperar o arquivo de um repositório privado, ou estar conectado à Internet e recuperar o arquivo diretamente da nuvem. Desta forma, o acesso aos arquivos compartilhados maximiza o tráfego de dados e não está limitado à capacidade de armazenamento do dispositivo local ou à restrições de seleções manuais de sincronização.

3.3. Repositório de Metadados

O repositório de metadados, gerido pelo módulo observador, é o responsável pela indexação da totalidade dos arquivos compartilhados na nuvem. Cada arquivo possui somente um índice no repositório de metadados, mas pode estar replicado em *cache* local, sistema de armazenamento privado e na nuvem. Os metadados são concentrados em um banco de dados, contendo informações como identificadores, caminho do objeto (hierarquia), tipo do objeto (arquivo ou diretório), tamanho desse objeto, as datas de criação e alteração, bem como um controle de operações realizadas e pendentes. De acordo com a situação atual da informação sobre os objetos (sincronizado com a nuvem, criado ou pendente de sincronização), o módulo observador aciona a sincronização. Em suma, CHSAN baseia-se nos metadados para montar o sistema de arquivos virtual disponibilizado aos usuários, permitindo que o mesmo visualize a totalidade do sistema de arquivos compartilhado, independente da localização física deste arquivo no momento da requisição.

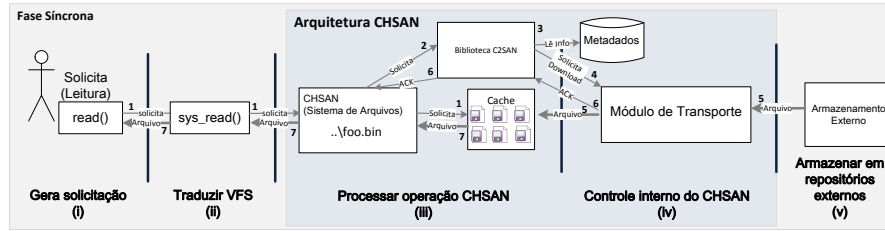
3.4. Operações de Leitura e Escrita

As operações de leitura e escrita são as demandas mais complexas gerenciadas por CHSAN, envolvendo todos os módulos da arquitetura. O fluxo de execução é decomposto em uma fase síncrona e outra assíncrona. Na fase síncrona, o aplicativo é bloqueado até que o CHSAN processe a operação. A fase assíncrona permite que o aplicativo continue executando enquanto o CHSAN processa as operações pendentes.

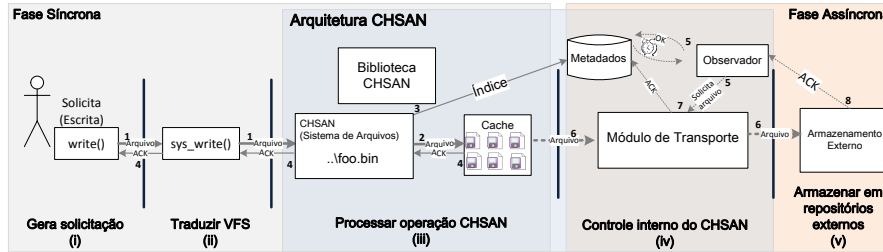
Embora as operações de leitura e escrita sejam tratadas de formas diferentes, elas seguem um fluxo similar de execução, dividido em cinco etapas: (i) gerar solicitação; (ii) traduzir VFS; (iii) processar operação CHSAN; (iv) controle interno do CHSAN; (v) armazenar em repositórios externos. A etapa (i) é executada na área do usuário e iniciada pela aplicação. No modo núcleo, a etapa (ii) recupera as informações da solicitação advindas da aplicação do usuário e traduz para VFS. No CHSAN, novamente no modo usuário, a etapa (iii) representa a operação do módulo de armazenamento da arquitetura. A etapa (iv) é de responsabilidade dos módulos observador e transporte, enquanto a etapa (v) é caracterizada pela sincronização dos dados entre a *cache* e os repositórios.

Na Figura 4 ilustra-se o fluxo de processamento das operações de leitura e escrita (representando em passos). As etapas (i)-(v) são representados pelo fluxo de execução (da esquerda para a direita). Na Figura 4(a) tem-se o fluxo de uma operação de leitura, em que um aplicativo gera a solicitação e a envia (identificada no passo 1). Se o arquivo solicitado

já existe na *cache* local e está coerente com a informação existente no índice de arquivos (tamanho e data de escrita são consultados no conjunto de metadados), ele é imediatamente retornado (passo 7) à aplicação. Neste caso, a resposta ao usuário é possível com o processamento das etapas (i) e (ii) simplesmente. Se o arquivo solicitado não estiver na *cache*, a etapa (iii) é iniciada. O sistema de arquivos do CHSAN solicita ao módulo de transporte o *download* do arquivo do repositório externo (servidor NAS ou repositório da nuvem). No módulo de transporte, os passos 2 (solicitação do arquivo à biblioteca CHSAN), passo 3 (leitura dos metadados) e passo 4 (efetua *download*) são processados. O fluxo segue na etapa (iv), desta vez, sob responsabilidade do módulo de transporte. A leitura do armazenamento NAS é prioritária em relação ao repositório na nuvem, portanto, se o arquivo estiver atualizado no NAS, os passos 5, 6 e 7 são executados e o arquivo entregue à aplicação. Finalmente, se o arquivo só estiver na nuvem, o módulo de transporte atualiza o arquivo no armazenamento NAS (passo 5), caracterizando a etapa (v), e o fluxo de retorno do arquivo é concluído (passos 6 e 7).



(a) Fluxo para leitura de um arquivo usando CHSAN.



(b) Fluxo para escrita de um arquivo usando CHSAN.

Figura 4. Exemplos de fluxo de leitura e escrita usando CHSAN.

Enquanto o processo de leitura acontece de forma síncrona, o processo de escrita (Figura 4(b)) possui uma fase assíncrona. Uma escrita usando CHSAN ocorre inicialmente na *cache* da arquitetura. Os blocos de dados são redirecionados (passo 1) à *cache* local, passando pelo núcleo. O índice do arquivo é atualizado na base de metadados e uma confirmação é enviada (passo 4) ao sistema operacional, finalizando a operação. A fase assíncrona (passo 5) é executada pelo observador em intervalos regulares para verificação de pendências de sincronização na base de metadados. Quando necessário, o módulo de transporte é acionado para realizar o *upload* aos repositórios de armazenamento externo (NAS e provedor de nuvem). Ao final do passo 6, os armazenamentos externos e o metadado local é atualizado.

4. Análise Experimental

Como prova de conceito, um protótipo da arquitetura foi implementado e analisado comparando métricas com clientes de sincronização populares. Os experimentos focaram na quantificação da sobrecarga ocasionada por CHSAN quando comparado com clientes populares de sincronização e tecnologias para repositório distribuídos.

4.1. Ambiente de Testes

O ambiente de testes foi composto por máquinas virtuais, hospedadas em dois equipamentos HP EliteBook 840 com Core I5 – 4300U de 2.5 GHz, 16 GB RAM, disco local de 500 GB SATA, executando o sistema operacional Windows 7 e software de virtualização VMware player 7.1.2. Cada máquina virtual foi configurada com 2 vCPUs, 8 GB RAM e 80 GB para armazenamento. Como sistema de arquivos, foi utilizado o NTFS com configurações padrão. Os equipamentos foram interconectados em uma LAN com *switch* Gigabit, e uma conexão Wifi foi configurada com um roteador D-LINK DWR-922 (144, 4 Mbps).

Os testes de escrita no armazenamento USB foram realizados em um dispositivo móvel Kingston Data Travel 101 de 64 Gb, acessível na máquina virtual. Testes com escritas remotas foram realizados em repositório compartilhado, hospedado em um equipamento com a mesma descrição, executando Windows 10. No protótipo de CHSAN, utilizou-se o banco de dados Microsoft SQL Server 2014 Express para armazenamento dos metadados.

4.2. Métricas e Comparações

As métricas selecionadas para discussão caracterizam o tempo necessário para executar operações e a vazão média do sistema. O tempo de execução é relacionado com a expectativa de desempenho, sendo crucial para sincronização entre usuários colaborativos, enquanto a vazão média do sistema quantifica a capacidade máxima atingida para cada configuração estudada. O presente artigo segue a metodologia de trabalhos anteriores, executando operações de leitura e escrita com diferentes tamanhos de arquivos [Kanaujia and Giridhar 2012] (1 MB, 50 MB, 100 MB e 200 MB). Para geração e submissão de arquivos, foi utilizada a ferramenta *postmark* [Katcher 1997] e um programa para geração de arquivos aleatórios. Para cada experimento, foram realizadas dez rodadas, e os gráficos têm representados os valores médios, o desvio padrão, valores máximos e mínimos (intervalo de confiança de 95%). Além de CHSAN, os testes foram promovidos com seis conjuntos de sistema de arquivos:

- *Nativo local*: leitura e escrita realizadas no mesmo dispositivo de armazenamento (com NTFS) que o sistema operacional está localizado. Este cenário é utilizado como linha de base para análise de desempenho (identificado por *Local* nos gráficos).
- *Nativo LAN cabeada*: operações realizadas em um repositório remoto com sistema de arquivo CIFS (sobre NTFS), conectado por um *switch* Gigabit (legenda *LAN cab*).
- *Nativo LAN Wifi* operações realizadas em um repositório (CIFS sobre NTFS) acessado remotamente através de um *access point* doméstico, configurado em modo infraestrutura com conectividade máxima de 144, 4 Mbps (legenda *LAN Wifi*).
- *Nativo USB*: escrita e leitura realizadas em um dispositivo móvel de armazenamento conectado por uma interface USB 2.0 com sistema de arquivos FAT32 (legenda *USB*).
- *Dokan C++*⁵: sistema de arquivo FUSE em C++ que dispõe de um volume remoto como um diretório do sistema de arquivos local.
- *Dokan .Net*: possui funcionalidades iguais ao cenário anterior. Entretanto, foi implementado com a linguagem C# .NET, mesma utilizada pelo protótipo CHSAN.

⁵Dokan, disponível em <https://github.com/dokan-dev/>.

4.3. Discussão dos Resultados

A Figura 5 e a Tabela 1 contêm os valores obtidos com a execução do *benchmark postmark* para escrita, leitura e deleção de 10 arquivos (por rodada) com conteúdo aleatório. O primeiro conjunto de testes visa avaliar o desempenho das operações sem atualização imediata do repositório da nuvem. Os cenários *Nativo local*, *Nativo USB*, *Nativo LAN cabeada* e *Nativo LAN Wifi* não alteram seu modo de funcionamento pois os dois primeiros têm como objetivo o armazenamento local e, os dois últimos, não são sincronizados com repositórios na nuvem. Os cenários *Dokan C++* e *Dokan .Net* foram parametrizados para não sincronizarem seus arquivos com o repositório na nuvem. Em CHSAN, as operações realizadas são atendidas pelas etapas (i), (ii) e (iii) (Figura 4). Nos cenários com sistema de arquivos virtual (*Dokan C++*, *Dokan .Net* e CHSAN), o impacto no desempenho é oriundo das operações para acesso ao repositório de metadados. Os cenários com sistemas nativos não precisam deste repositório e, naturalmente, apresentam tempos de acesso inferiores aos demais.

O tempo de execução das operações (em segundos) nos diferentes repositórios é resumido na Figura 5. Os cenários *Nativo LAN cabeada* e *Nativo LAN Wifi* representam a linha de base de acesso a sistemas de armazenamento privado implantados em uma LAN. Embora possua um mecanismo com maior número de operações (discutido na Seção 3), a sobrecarga imposta por CHSAN, quando comparado ao cenário *Nativo LAN cabeada*, é somente perceptível para operações com arquivos pequenos (1 MB), sendo suavizada para arquivos maiores (aproximadamente 2.9, 3.7 e 3.9 maior para cenários com 50 MB, 100 MB e 200 MB). Ainda, o tamanho dos arquivos não influencia diretamente o tempo das operações.

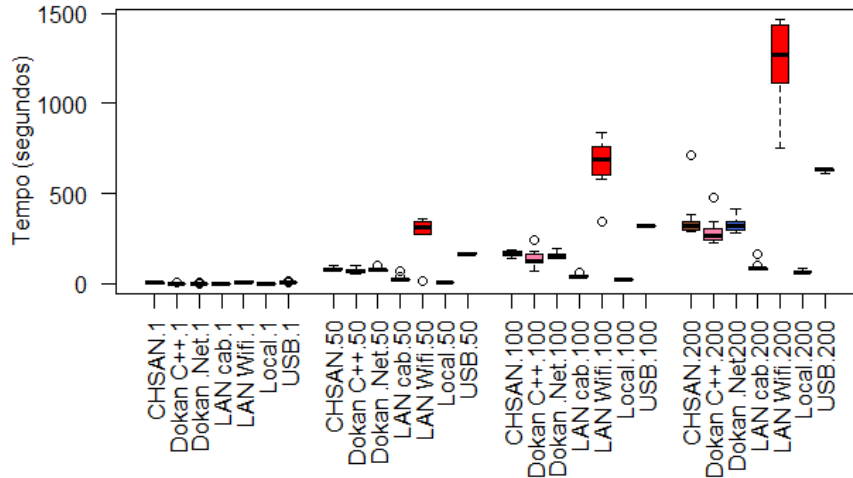


Figura 5. Tempo de execução (em segundos) dos sistemas analisados.

Quando comparado aos cenários com escrita direta no sistema de arquivos virtual, que possuem repositório de metadados, identificados pelas legendas *Dokan C++* e *Dokan .Net*, CHSAN obteve resultados competitivos. *Dokan .Net* apresentou uma sobrecarga aproximada de 36%, 10%, 5%, 8% e 6%, para operações com arquivos de 1 MB até 200 MB, respectivamente. Esses valores representam o tempo necessário para atualização do repositório de metadados. CHSAN obteve um menor tempo médio de execução das operações quando comparado aos cenários *Nativo Wifi* e *Nativo USB*. Em suma, a sobrecarga acrescentada por CHSAN quando comparada às linhas de base (*Nativo local* e *Nativo LAN cabeada*) é esperada, devido às operações necessárias para controle e gerenciamento dos metadados.

Entretanto, quando comparado a cenários logicamente próximos (*Dokan C++* e *Dokan .Net*), CHSAN obteve um desempenho aceitável. Quando comparado aos cenários *Nativo USB* e *Nativo LAN Wifi*, CHSAN obteve-se um desempenho superior em todos os casos.

Cenário	1 MB		50 MB		100 MB		200 MB	
	$\bar{x} \pm \sigma$	min; max	$\bar{x} \pm \sigma$	min; max	$\bar{x} \pm \sigma$	min; max	$\bar{x} \pm \sigma$	min; max
Nativo local	10 ± 0	10; 10	$71,43 \pm 9,09$	62,50; 83,33	$49,75 \pm 10,09$	37,04; 67,02	$31,49 \pm 3,85$	23,53; 35,71
Nativo LAN cabeada	$8,33 \pm 2,72$	3,33; 10	$20,26 \pm 5,77$	7,35; 25	$23,54 \pm 3,38$	15,63; 27,03	$23,29 \pm 4,33$	12,20; 26,67
Nativo LAN Wifi	$1,02 \pm 0,37$	0,5; 1,25	$6,44 \pm 15,31$	1,39; 50	$1,59 \pm 0,49$	1,19; 2,88	$1,68 \pm 0,40$	1,37; 2,66
Nativo USB	$1,25 \pm 0,21$	0,83; 1,67	$3,01 \pm 0,09$	2,89; 3,16	$3,14 \pm 0,03$	3,09; 3,17	$3,18 \pm 0,04$	3,15; 3,27
Dokan C++	$7,75 \pm 2,99$	2,50; 10	$7,18 \pm 1,29$	5,10; 8,77	$7,90 \pm 2,99$	4,20; 15,38	$7,29 \pm 1,46$	4,21; 8,93
Dokan .Net	$5,83 \pm 2,26$	3,33; 10	$6,75 \pm 0,73$	5,05; 7,69	$6,53 \pm 0,69$	5,18; 7,35	$6,14 \pm 0,81$	4,85; 7,19
CHSAN	$3,39 \pm 0,87$	3,30; 5	$6,07 \pm 0,64$	4,95; 6,76	$6,19 \pm 0,54$	5,43; 6,99	$5,92 \pm 1,21$	2,81; 6,87

Tabela 1. Vazão alcançada pelos sistemas analisados (em KB/s).

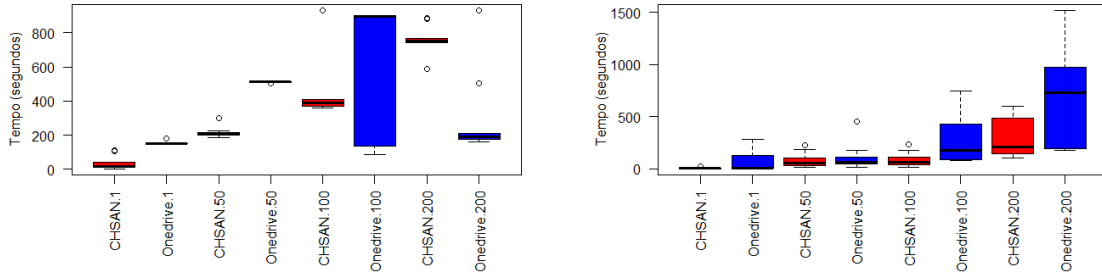
Na Tabela 1, estão representados os valores para a vazão (kilobytes por segundo) alcançada durante a execução dos testes nos cenários propostos. O comportamento dos resultados de CHSAN perante os cenários *Nativo local* e *Nativo LAN cabeada* é semelhante ao discutido na Figura 5. Entretanto, a vazão média alcançada por CHSAN é comparável aos sistemas de escrita nativa sobre sistemas de armazenamento virtuais. É importante ressaltar que, independente do volume de dados escritos e lidos no sistema, CHSAN manteve uma vazão superior aos sistemas *Nativo USB* e *Nativo LAN Wifi*. Ainda, a vazão obtida por CHSAN é de aproximadamente 6,18 KB/s para arquivos entre 50 e 200 MB, com valores menores para arquivos de 1 MB (3,9 KB/s).

Os resultados do primeiro conjunto de testes comprovam a eficiência do CHSAN nas operações de escrita, leitura e deleção de arquivos sem atualização imediata do repositório na nuvem. Arquiteturas dos clientes de sincronização de arquivos na nuvem baseiam-se em sistemas de arquivos *Nativo local*, otimizando seus resultados neste contexto, porém, ignoram o conteúdo dinâmico do repositório de metadados e, consequentemente, suas vantagens.

O segundo conjunto de testes (Figura 6) avaliou o desempenho das operações em arquivos compartilhados localizados unicamente no sistema de armazenamento na nuvem. Em CHSAN, o acesso a estes arquivos só é possível com a aplicação das cinco etapas descritas na Figura 4. Embora algumas operações possam ser realizadas de forma assíncrona, o método aplicado para medição do tempo assegurou-se que o arquivo esteja todo na nuvem. Considerando a média, o CHSAN superou o cliente para sincronização de arquivos *OneDrive* para arquivos de 1 MB, 50 MB e 100 MB, nas operações escrita, Figura 6(a), e leitura, Figura 6(b). A exceção foi o resultado da escrita de arquivos com 200 MB: *OneDrive* obteve tempo inferior ao CHSAN, entretanto, o desvio padrão indica uma maior dispersão nos resultados, fato indesejável quando analisado o requisito de latência de acesso.

4.4. Discussão e Parametrização da Arquitetura

O CHSAN ocupa uma área de armazenamento de *cache* configurável que independe do tamanho dos dados armazenados no repositório da nuvem. No estudo de caracterização de armazenamento em nuvem realizado por [Gonçalves et al. 2014] foi identificado que 333



(a) Operação de escrita de um arquivo na nuvem.

(b) Operação de leitura de um arquivo na nuvem.

Figura 6. Operações em arquivos localizados na nuvem (CHSAN vs. *OneDrive*).

usuários possuíam 3 milhões de arquivos totalizando aproximadamente 1,38 TB de dados. No protótipo de CHSAN, usando o banco de dados Microsoft SQLServer 2014, esse volume seria indexado e disponibilizado, consumindo apenas 2,2 GB de área de armazenamento.

O fluxo total de entrada e saída para o armazenamento externo é diminuído, pois somente são trafegados arquivos solicitados, abordagem distinta da realizada pelos clientes de sincronização convencionais que mantêm a sincronização independente do uso. Além disso, a implementação do CHSAN com um armazenamento NAS reduz o tráfego à Internet para a leitura de arquivos por múltiplos usuários colaborativos. Os clientes de um mesmo compartilhamento NAS deixam de buscar os dados da nuvem e passam a atualizar a *cache* com base nas versões locais. Entretanto, o contato com a nuvem é necessário a cada escrita para disponibilizar aos usuários externos as informações sobre o procedimento realizado. A equação $v = b_e * \alpha(1 + n)$ pode ser utilizada para estimar o volume de dados trafegados com os repositórios de armazenamento na nuvem, sendo v o volume total de dados trafegados, b_e o volume de bytes escritos no provedor de nuvem, n o número de clientes a sincronizar, e $\alpha \leq 1$ o coeficiente de compressão. Na arquitetura híbrida de CHSAN, v passa a ser guiado por $v = \alpha * b_e$, sendo independente do número de clientes colaborativos.

5. Trabalhos Relacionados

A literatura especializada compreende trabalhos sobre caracterização de uso de armazenamento na nuvem e técnicas que melhoram o desempenho de clientes e protocolos.

Quanto à caracterização, Drago [Drago et al. 2012] e [Drago et al. 2013] identificaram o tráfego de dados da ferramenta *DropBox* em um ambiente universitário, indicando que o uso de recursos de rede para sincronização de arquivos alcançou um terço do tráfego para visualização de vídeos no cenário estudado. Estes trabalhos caracterizaram o comportamento dos usuários contabilizando o volume de dados, tamanho médio dos arquivos e atividades de sincronização. Eles também forneceram uma perspectiva sobre o uso de clientes de sincronização em usuários domésticos, embasando a realização da presente proposta, porém, não se preocuparam com ambientes organizacionais com múltiplos usuários, discutido na Seção 2. Nestes ambientes, a flexibilidade e a heterogeneidade são características essenciais para um sistema de arquivos [Tate et al. 2005] [Shepler et al. 2003] [Hertel 2003] [French and Team 2007], enquanto a escalabilidade, a alta disponibilidade e a segurança são desejáveis [Tate et al. 2005]. CHSAN atende às características essenciais de sistemas de arquivos e ainda se preocupa com a escalabilidade e a alta disponibilidade, combinando três aspectos: o acesso ao disco local, aos sistemas de armazenamento privado, e ao armazenamento na nuvem.

Especificamente sobre armazenamento na nuvem, algumas soluções foram desenvolvidas com foco na escalabilidade dos sistemas de armazenamento GFS [Ghemawat et al. 2003], S3FS [Muniswamy-Reddy et al. 2010] e Hadoop [Shvachko et al. 2010]. Assim como CHSAN, essas soluções foram construídas com base em repositórios de metadados e sistemas de arquivos distribuídos. Por sua vez, CIFS [Hertel 2003], NFS [Shepler et al. 2003] e SAN [Tate et al. 2005] foram concebidos para atender ambientes organizacionais de menor escala. Em função da proposta para escala global, os sistemas de arquivos baseados em metadados e acesso a objetos, discutidos anteriormente, formaram a base do armazenamento em repositórios de nuvem.

Quanto às propostas para otimização do desempenho de clientes de sincronização, [Wang et al. 2012] e [Li et al. 2013] apresentaram técnicas para diminuir o tráfego total, tempo de acesso aos arquivos e *overuse*, no qual o tráfego de dados é maior que a quantidade de dados efetivos. O cliente de sincronização *Dropbox* destaca-se neste quesito, pois é o único que fornece a possibilidade de sincronização direta entre clientes localizados em uma mesma rede lógica por meio do protocolo *LanSync*. Nessa linha, CHSAN inova ao permitir a sincronização entre clientes concentrados em redes privadas, estando na mesma rede lógica ou não.

6. Conclusão

A adoção de serviços de armazenamento em nuvem por usuários domésticos e organizações é uma realidade, por oferecer maior disponibilidade aos dados, segurança e colaboração para os usuários. Entretanto, os clientes de sincronização de arquivos populares não foram desenvolvidos para atender os requisitos específicos de organizações com múltiplos usuários colaborativos, geograficamente distribuídos e concentrados em redes privadas, quando a latência no acesso aos arquivos é um ponto crítico para a sincronização. Nesse contexto, o presente artigo apresentou a arquitetura de um Cliente Híbrido para Sincronização de Arquivos em Nuvem – CHSAN – que combina o uso do disco local, de sistemas de armazenamento privado e do armazenamento na nuvem. CHSAN estendeu as características básicas dos clientes de sincronização de arquivos na nuvem, fornecendo soluções para as três principais limitações de uso destes clientes nas organizações: (i) ausência de integração com sistemas de armazenamento privado; (ii) necessidade de cópia local de todos os arquivos compartilhados; e (iii) latência de sincronização entre arquivos da nuvem e repositórios locais.

A análise experimental concentrou-se em dois cenários, (i) avaliação do impacto no desempenho de operações sobre arquivos no acesso ao repositório de metadados e (ii) avaliação do desempenho das operações em arquivos compartilhados, localizados unicamente na nuvem. Por possuir um mecanismo específico para controle de metadados, CHSAN apresentou uma sobrecarga nas operações com arquivos de 1 MB quando comparado a sistemas de acesso local. Nos demais testes, CHSAN obteve resultados motivadores, chegando a ser 36% melhor do que *Dokan .Net*. A taxa de vazão atingiu 6,18 KB/s para arquivos entre 50 e 200 MB. Finalmente, CHSAN foi melhor que *OneDrive* tanto na escrita quanto na leitura, para arquivos de 1 MB, 50 MB e 100 MB. Como trabalhos futuros, destacam-se um estudo específico sobre a adequação do método de alimentação da *cache* seletiva automática, e a comparação do CHSAN com outros clientes populares (*Google Drive* e *Dropbox*).

Referências

Besen, A., Cheong, H., Mueller, H., Pape, F., and Wurtz, D. (2015). Sharing and synchronizing electronically stored files. US Patent 8,949,179.

- Douceur, J. R. and Bolosky, W. J. (1999). A large-scale study of file-system contents. In *Proc. of the ACM SIGMETRICS*, pages 59–70, New York, NY, USA. ACM.
- Drago, I., Bocchi, E., Mellia, M., Slatman, H., and Pras, A. (2013). Benchmarking personal cloud storage. In *Proc. of the Internet Measurement Conference, IMC '13*, pages 205–212. ACM.
- Drago, I., Mellia, M., M. Munafo, M., Sperotto, A., Sadre, R., and Pras, A. (2012). Inside dropbox: Understanding personal cloud storage services. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Internet Measurement Conference, IMC '12*, pages 481–494, New York, NY, USA. ACM.
- French, S. M. and Team, S. (2007). A new network file system is born: Comparison of SMB2, CIFS and NFS. In *Linux Symposium*, page 131, Ottawa, Canada.
- Ghemawat, S., Gobioff, H., and Leung, S.-T. (2003). The google file system. In *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, volume 37, pages 29–43. ACM.
- Gonçalves, G., Drago, I., Couto da Silva, A. P., Marques de Almeida, J., and Borges Vieira, A. (2014). Caracterização e modelagem da carga de trabalho do dropbox. *Anais do 32º SBRC*, pages 545–558.
- Hertel, C. (2003). *Implementing CIFS: The Common Internet File System*. Prentice Hall Professional.
- Houston, D. and Ferdowsi, A. (2014). Network folder synchronization. US Patent 8,825,597.
- Kanaujia, V. and Giridhar, C. (2012). FUSE: Python for development of storage efficient filesystem.
- Katcher, J. (1997). Postmark: A new file system benchmark. Technical report, Network Appliance, TR3022.
- Katzer, M. and Crawford, D. (2013). Office 365: Moving to the cloud. In *Office 365*, pages 1–23. Springer.
- Li, Z., Wilson, C., Jiang, Z., Liu, Y., Zhao, B., Jin, C., Zhang, Z.-L., and Dai, Y. (2013). Efficient batched synchronization in dropbox-like cloud storage services. In Eyers, D. and Schwan, K., editors, *Middleware 2013*, volume 8275 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 307–327. Springer Berlin Heidelberg.
- Mell, P. M. and Grance, T. (2011). Sp 800-145. the NIST definition of cloud computing. Technical report, NIST, Gaithersburg, MD, United States.
- Muniswamy-Reddy, K.-K., Macko, P., and Seltzer, M. (2010). Provenance for the cloud. In *Proceedings of the 8th USENIX Conference on File and Storage Technologies, FAST'10*, pages 15–14.
- Naldi, M. and Mastroeni, L. (2013). Cloud storage pricing: A comparison of current practices. In *Proc. of the International Workshop on Hot Topics in Cloud Services, HotTopsCS '13*, pages 27–34. ACM.
- Shepler, S., Eisler, M., Robinson, D., Callaghan, B., Thurlow, R., Noveck, D., and Beame, C. (2003). Network file system (nfs) version 4 protocol. *Network*.
- Shvachko, K., Kuang, H., Radia, S., and Chansler, R. (2010). The hadoop distributed file system. In *Mass Storage Systems and Technologies (MSST), 2010 IEEE 26th Symposium on*, pages 1–10. IEEE.
- Smith, D. M., Petri, G., Natis, Y. V., Scott, D., Warrilow, M., Heiser, J., Bona, A., Toombs, D., Yeates, M., Bova, T., and Lheureux, B. J. (2013). Cloud computing affects all aspects of it. Technical report, Gartner Group.
- Tate, J., Lucchese, F., Moore, R., and TotalStorage, S. (2005). *Introduction to storage area networks*. IBM Corporation, International Technical Support Organization.
- Wang, H., Shea, R., Wang, F., and Liu, J. (2012). On the impact of virtualization on dropbox-like cloud file storage/synchronization services. In *Proc. of the IEEE 20th International Workshop on Quality of Service*, pages 11:1–11:9, Piscataway, NJ, USA.
- Zhang, Q., Cheng, L., and Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of internet services and applications*, 1(1):7–18.