REVISTA DA MICRO E PEQUENA EMPRESA
Vol. 19, No. 3, Set-Dez 2025, p.01-15
ISSN: 1982-2537

# Preservação digital de longo prazo em pequenas organizações: *blockchain*, auditabilidade e armazenamento permanente de documentos

# Long-term digital preservation in small organizations: blockchain, auditability, and permanent document storage

**Nilton Cezar Marins Brum Junior**
Universidade de Vassouras
cezarbrumjr@gmail.com

**Fabricio Tadeu Dias**
Universidade Federal Fluminense
fabricio_dias@id.uff.br

## RESUMO

A digitalização crescente expõe pequenas organizações a riscos de perda, indisponibilidade e comprometimento da integridade de documentos digitais, enquanto soluções tradicionais de armazenamento impõem custos recorrentes e dependência de provedores. Este estudo analisa a viabilidade técnica e econômica da preservação digital de longo prazo por meio de redes distribuídas, com ênfase em *blockchain* e armazenamento permanente. Adotou-se abordagem bibliométrica, bibliográfica e exploratória, complementada pelo desenvolvimento e validação funcional da prova de conceito *StoneChain*, integrada à rede *Arweave*. Os resultados demonstraram auditabilidade pública, verificação de integridade, autenticação por assinatura digital e recuperação independente do servidor da aplicação. Para arquivos de 100 MB, observou-se custo de US$ 1,32 e latência média de 5,5 minutos; arquivos inferiores a 1 MB apresentaram latência de 2 a 5 segundos. A análise econômica indica vantagem potencial do pagamento único em horizontes superiores a duas décadas. Conclui-se que redes orientadas à permanência apresentam potencial para documentos críticos de pequenas organizações, embora persistam desafios de privacidade, usabilidade e adoção.

**Palavras-chave:** Gestão documental. Integridade da informação. Imutabilidade. Redes distribuídas. Transformação digital.

## ABSTRACT

Increasing digitalization exposes small organizations to risks of loss, unavailability, and compromised integrity of digital documents, while traditional storage solutions impose recurring costs and vendor dependency. This study analyzes the technical and economic feasibility of long-term digital preservation using distributed networks, focusing on blockchain and permanent storage. A bibliometric, bibliographic, and exploratory approach was adopted, complemented by the development and functional validation of the StoneChain proof-of-concept integrated with the Arweave network. Results demonstrated public auditability, integrity verification, digital signature authentication, and recovery independent of the application server. For 100 MB files, a cost of US$ 1.32 and an average latency of 5.5 minutes were observed, whereas files smaller than 1 MB showed latency of 2 to 5 seconds. Economic analysis indicates a potential advantage of one-time payment models over

timeframes exceeding two decades. The study concludes that permanence-oriented networks offer potential for critical documents in small organizations, although challenges regarding privacy, usability, and adoption persist.

**Keywords:** Document management. Information integrity. Immutability. Distributed networks. Digital transformation.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente digitalização em setores públicos e privados intensificou a circulação de documentos eletrônicos e ampliou a preocupação com fraudes, manipulações e falhas de preservação em repositórios centralizados. Sistemas dessa natureza, ainda predominantes, apresentam vulnerabilidades estruturais como pontos únicos de falha, ausência de trilhas imutáveis de auditoria e dependência de intermediários. Além das vulnerabilidades inerentes à infraestrutura tecnológica, a segurança dos acervos digitais é influenciada pelo fator humano, assim, instituições permanecem suscetíveis a práticas de engenharia social e a comportamentos que comprometem mecanismos de proteção (CARVALHO; PEDRINI, 2025).

Falhas nesses sistemas geram perdas irreparáveis. Em março de 2018, a prefeitura de Atlanta (EUA) foi alvo de ataque *ransomware* que infectou cerca de 3.789 computadores, criptografou servidores e estações de trabalho, e exigiu pagamento em Bitcoin para restabelecer o acesso. O custo para restaurar os dados superou o valor do resgate, alcançando milhões de dólares. Igualmente pertinente é o caso da Operação Código 451, deflagrada pela Polícia Federal do Brasil em junho de 2025, que desarticulou rede criminosa dedicada à falsificação e comercialização de diplomas de ensino superior.

Incidentes como esses reforçam a necessidade de alternativas tecnológicas que garantam integridade, auditabilidade e disponibilidade contínua de documentos. Nesse cenário, tecnologias de *Distributed Ledger Technology* (DLT) e *blockchain* ganham relevância ao fornecer mecanismos nativos de imutabilidade, rastreabilidade e autenticação temporal (COELHO; BRANDÃO, 2019).

A importância deste estudo reside na necessidade de garantir não apenas a prova de integridade por meio de *hashes*, mas também a disponibilidade contínua do conteúdo integral do documento, preservando seu valor probatório e operacional. A literatura recente concentra-se em arquiteturas híbridas que combinam *blockchain* como camada de confiança e sistemas distribuídos *off-chain*, como o IPFS, para armazenamento cifrado de documentos.

A transformação digital modifica processos organizacionais e amplia a dependência em relação a recursos digitais, criando simultaneamente oportunidades de inovação e novos desafios para a gestão e proteção das informações (BATISTA; AROUCA; LOBATO, 2024). Nesse contexto, a preservação de documentos digitais constitui não apenas uma questão tecnológica, mas também uma questão de gestão organizacional.

Este estudo objetiva avaliar, por meio de análise bibliométrica, revisão crítica da literatura e desenvolvimento de prova de conceito, a viabilidade técnica, econômica e arquivística para o armazenamento integral e permanente de documentos digitais em redes distribuídas de preservação, comparando diferentes modelos quanto à permanência, auditabilidade e custo, e identificando abordagens adequadas para aplicações públicas e institucionais de longo prazo.

O trabalho examina as diferenças práticas entre armazenar dados diretamente na *blockchain* e utilizar repositórios distribuídos *off-chain*, mapeia boas práticas consolidadas na literatura e investiga como elas se conectam a um modelo documental de longo prazo. Com isso, busca não apenas propor uma solução técnica, mas contribuir para o debate sobre como preservar documentos de forma confiável em um cenário cada vez mais digital e distribuído.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 *Blockchain* e Gestão Documental

Comprovar que dados existiam em ou antes de certo instante é um problema conhecido como carimbo de tempo digital, formalizado por Haber e Stornetta (1991), cuja proposta de encadeamento de *hashes* e publicação distribuída foi precursora do conceito moderno de *blockchain*. A tecnologia *blockchain* é um tipo de DLT que encadeia blocos de dados por meio de funções criptográficas de *hash*, formando uma sequência imutável e auditável de registros. Cada bloco armazena transações validadas por consenso, eliminando a necessidade de intermediários e garantindo transparência e rastreabilidade (COELHO; BRANDÃO, 2019).

Aplicada à gestão documental, a *blockchain* permite registrar metadados assinados digitalmente, garantindo autoria, integridade e data verificável dos documentos (DAS; TAO; CHENG, 2021; MAHLABA et al., 2024; KIJAS; ZALEWSKI, 2023). O carimbo de tempo descentralizado, mantido pelo consenso da rede, fornece evidência de precedência e

autenticidade, substituindo sistemas centralizados (COELHO; BRANDÃO, 2019; YUNIANTO et al., 2019).

O armazenamento integral de arquivos diretamente na *blockchain (on-chain)* apresenta limitações de custo, escalabilidade e privacidade. A literatura recente aponta para arquiteturas híbridas, em que o conteúdo é armazenado *off-chain* em sistemas como o *InterPlanetary File System* (IPFS), enquanto apenas *hashes* e metadados são registrados *on-chain* (DAS; TAO; CHENG, 2021; MAHLABA et al., 2024). Essa abordagem fornece verificação de integridade, porém não garante preservação, pois o IPFS não dispõe de mecanismos de retenção obrigatória de conteúdo, tornando-se dependente de pinagem e replicação voluntária (BENET, 2014; LEAL-NARVÁEZ et al., 2025). Modelos complementares como *Filecoin*, *Storj* e *Sia* tentam suprir essa lacuna por meio de incentivos econômicos (PROTOCOL LABS, 2017; BENISI; AMINIAN; JAVADI, 2020), mas a permanência ainda depende da renovação de contratos de custódia.

Nesse contexto, autores como Williams (2018) e Leal-Narváez et al. (2025) destacam o surgimento de arquiteturas orientadas à permanência, entre as quais se encontra o blockweave, utilizado pelo *Arweave*. Embora compartilhe fundamentos da *blockchain* tradicional, como encadeamento de blocos por *hash* e validação distribuída, o *blockweave* modifica o modelo de consenso ao exigir que os mineradores demonstrem acesso a blocos antigos para validar novos registros, mecanismo denominado *Proof-of-Access* (PoA). Tal requisito incentiva economicamente a retenção de dados históricos, integrando a preservação documental ao próprio protocolo de consenso e eliminando a dependência de mecanismos de pinagem (WILLIAMS, 2018; KHALID et al., 2023; BENISI; AMINIAN; JAVADI, 2020).

### 2.2 Comparação entre IPFS, *Arweave* e Outras Soluções de Armazenamento Distribuído

A escolha da camada de armazenamento *off-chain* é elemento central nas arquiteturas híbridas de preservação documental. Estudos comparativos analisam soluções como IPFS, *Arweave*, *Filecoin*, *Storj* e *Sia*, destacando diferenças quanto à persistência, modelo econômico, governança e aplicabilidade (LEAL-NARVÁEZ et al. 2025 BENISI; AMINIAN; JAVADI, 2020; WILLIAMS, 2018; BENET, 2014; PROTOCOL LABS, 2017).

O IPFS é amplamente reconhecido pela eficiência na distribuição de arquivos por meio do endereçamento por conteúdo (CIDs) e da estrutura *Merkle-DAG*, que possibilita integridade e deduplicação. Contudo, Benet (2014) destaca que o IPFS não possui mecanismos nativos de

persistência, o que o torna dependente de serviços de *pinning* ou da manutenção voluntária de nós, característica que limita seu uso isolado em cenários de preservação institucional ou arquivística de longo prazo.

O *Filecoin* complementa o IPFS ao criar um mercado de armazenamento no qual mineradores provam, por *Proof-of-Replication* e *Proof-of-Spacetime*, que mantêm os dados armazenados (PROTOCOL LABS, 2017). Leal-Narváez et al. (2025) e Benisi, Aminian e Javadi (2020) observam que, embora ofereça contratos verificáveis de armazenamento, a durabilidade ainda depende da renovação contínua desses contratos, característica adequada para armazenamento com prazo mais curto e bem definido, mas insuficiente para garantir preservação definitiva.

*Storj* e *Sia* seguem abordagens similares: fragmentam arquivos por *erasure coding* e os distribuem entre nós incentivados economicamente. Esses sistemas garantem redundância e custo competitivo, porém, como apontado por Benisi, Aminian e Javadi (2020), também não asseguram retenção perpétua, exigindo manutenção contínua de contratos.

O *Arweave* diferencia-se ao propor um modelo orientado à permanência. O *blockweave* e o mecanismo *Proof-of-Access/SPoRA* exigem que mineradores demonstrem acesso a blocos antigos como parte do processo de consenso (WILLIAMS, 2018). Isso cria um incentivo econômico para manter os dados acessíveis indefinidamente. Leal-Narváez et al. (2025) identificam o *Arweave* como solução singular para preservação histórica e arquivística, especialmente para documentos cujo ciclo de vida ultrapassa décadas. Diferentemente das arquiteturas em que a preservação depende de pinagem ou de contratos de custódia em redes auxiliares, o *Arweave* integra registro e retenção de dados em uma única rede, permitindo que metadados e conteúdo sejam armazenados na própria estrutura de consenso. Em soluções como o *StoneChain*, elimina-se a necessidade de ancoragem adicional em outra *blockchain* e reduz-se a complexidade operacional da preservação documental.

Autores como Leal-Narváez et al. (2025), Williams (2018) e Benisi, Aminian e Javadi (2020) convergem ao reconhecer que diferentes soluções atendem a finalidades distintas no ecossistema de armazenamento distribuído: IPFS oferece alta eficiência de distribuição e endereçamento por conteúdo, sendo apropriado quando a prioridade está na distribuição eficiente e quando existe governança organizacional capaz de garantir pinagem contínua; *Filecoin*, *Storj* e *Sia* estruturam mercados de custódia verificável, tornando-se alternativas viáveis quando o requisito principal é o armazenamento economicamente incentivado, porém

não necessariamente permanente, adequado a dados rotativos ou de ciclo de vida definido; o *Arweave* orienta-se especificamente à preservação permanente de dados, mostrando-se mais adequado para documentos com valor probatório duradouro, como atos administrativos, laudos técnicos e publicações científicas.

Pesquisas mais recentes sugerem que, em cenários de preservação documental de longo prazo, o *Arweave* pode exercer simultaneamente o papel de camada de confiança e de repositório permanente, eliminando a dependência de pinagem e de contratos de retenção (LEAL-NARVÁEZ et al. 2025; WILLIAMS, 2018; BENISI; AMINIAN; JAVADI, 2020). Essa interpretação está alinhada com os princípios de repositórios duráveis descritos por Kijas e Zalewski (2023), mas amplia sua aplicação ao demonstrar que a preservação não precisa, necessariamente, ocorrer fora da rede de consenso. A abordagem adotada no *StoneChain* prioriza o modelo *full-Arweave* como alternativa coerente às arquiteturas híbridas, mitigando riscos de perda de acervo associados à camada *off-chain*.

### 2.3 Casos de Uso e Padrões Emergentes

Estudos recentes demonstram a aplicabilidade de soluções híbridas em diferentes setores. Na construção civil, Das, Tao e Cheng (2021) propõem o uso de *blockchain* e IPFS para gerenciar documentos técnicos. Em diplomas e certificados acadêmicos, Peyyala (2022) descreve modelos em que *hashes on-chain* eliminam a necessidade de consulta à instituição emissora. No armazenamento corporativo de longo prazo, Kijas e Zalewski (2023) defendem o uso de repositórios imutáveis. No campo forense, Yunianto et al. (2019) apresentam o B-DEC, um gabinete digital de evidências baseado em *blockchain*. Essas soluções contribuem para o papel da *blockchain* como camada de confiança e auditoria.

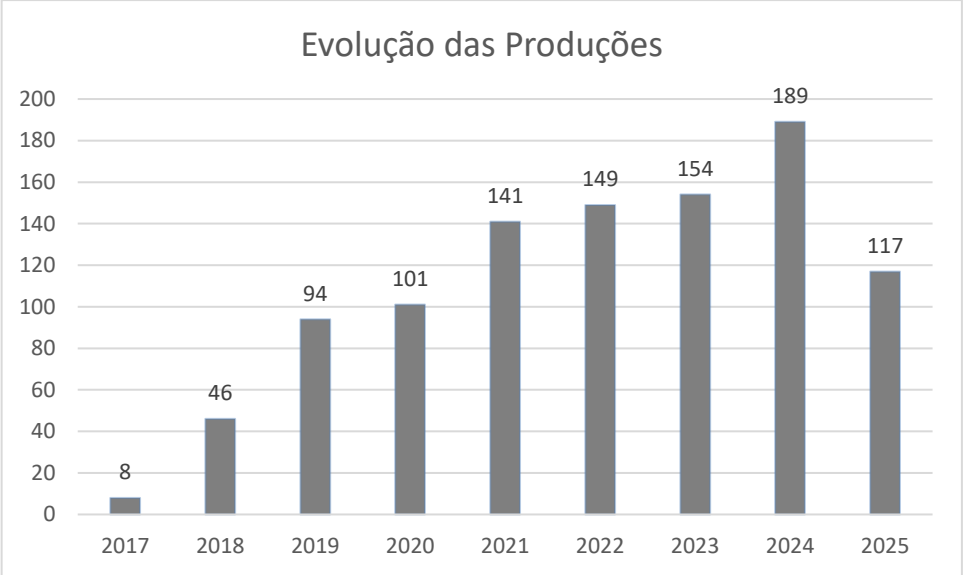
## 3. METODOLOGIA

A pesquisa adota abordagem bibliométrica, bibliográfica e exploratória, combinando técnicas quantitativas e qualitativas para compreender o estado atual do armazenamento integral de documentos em *blockchain*. O estudo foi conduzido em três etapas complementares: levantamento e análise bibliométrica da produção científica recente, leitura e interpretação crítica dos trabalhos selecionados, e elaboração e implementação de prova de conceito funcional baseada nos padrões arquiteturais identificados.

### 3.1 Levantamento Bibliométrico

A busca foi realizada na base *Web of Science*, com os termos combinados "*permanent storage", "Digital Documents", "immutability"* e *"Blockchain"*. A análise bibliométrica foi conduzida com o pacote Bibliometrix no software R, caracterizando o panorama científico sobre *blockchain* e armazenamento distribuído entre 2017 e 2025. O corpus final reuniu 1.000 documentos provenientes de 636 fontes, abrangendo artigos, *proceedings*, revisões sistemáticas e estudos experimentais. A Figura 1 apresenta a evolução anual das publicações, evidenciando aumento consistente a partir de 2019 e pico em 2023, o que confirma a consolidação do tema na academia.

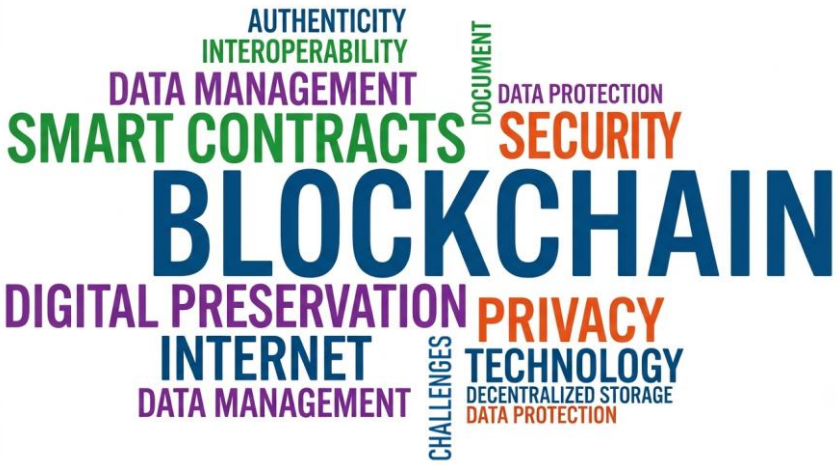
Figura 1: Quantidade de documentos publicados por ano (2017-2025)




Fonte: Os autores

A análise de palavras-chave (Figura 2) mostrou forte concentração em "*blockchain*" (802 ocorrências), seguida por termos relacionados à segurança da informação, como *security* (150) e *smart contract(s)* (223, considerando singular e plural). Outros temas recorrentes incluem internet (114), *privacy* (94) e *IoT* (85), evidenciando um ecossistema de publicações voltado à infraestrutura distribuída, proteção de dados e aplicações descentralizadas.

Figura 2: Nuvem de palavras-chaves de maior ocorrência




Fonte: Os autores

### 3.2 Desenvolvimento da Prova de Conceito

Com base nos resultados das análises, implementou-se a prova de conceito *StoneChain*. O aplicativo utiliza conceitos de armazenamento de dados em *blockchain* identificados na bibliografia, implementados por meio de arquitetura cliente-servidor com *React* e *TypeScript* no *frontend*, Node.js e Express no *backend*, integrando-se à rede *Arweave* para armazenamento permanente.

O desenvolvimento do *StoneChain* pode ser compreendido sob a perspectiva do gerenciamento de projetos de software em pequenas e médias organizações, nas quais diferentes abordagens de gestão podem ser empregadas de acordo com características, restrições e objetivos do projeto. Estudos sobre gerenciamento de projetos em PMEs destacam a coexistência de abordagens preditivas, ágeis e híbridas, bem como a necessidade de adequação dos métodos de gerenciamento às particularidades de cada contexto organizacional (OLIVEIRA et al., 2024). No caso do *StoneChain*, essa perspectiva é pertinente por se tratar de protótipo experimental que integra diferentes tecnologias e exige ciclos sucessivos de implementação, integração e validação funcional.

Embora a literatura apresente predominantemente arquiteturas híbridas, nas quais a *blockchain* atua como camada de confiança e sistemas *off-chain* são utilizados para armazenamento do conteúdo, como sugerido por Das, Tao e Cheng (2021) e Mahlaba et al. (2024), o *StoneChain* adota estratégia distinta para a persistência documental. O conteúdo integral dos documentos é armazenado no *Arweave*, enquanto o *SQLite* é empregado exclusivamente como mecanismo auxiliar de indexação local dos metadados. Dessa forma, a

disponibilidade do documento não depende da permanência do servidor responsável pela aplicação ou da manutenção do banco de dados local.

A arquitetura do *StoneChain* organiza-se em três camadas. A camada de Apresentação é responsável pela interface web e pela interação com as carteiras digitais dos usuários (*Wander/ArConnect*) para assinatura das transações. A camada de Aplicação é responsável pela validação das assinaturas digitais, preparação das transações e gerenciamento da lógica de negócio. A camada de Persistência integra o *Arweave*, utilizado para armazenamento integral dos documentos, e o *SQLite*, utilizado para indexação local de metadados como nome, tipo, tamanho e *Transaction ID*.

A definição da arquitetura constitui etapa relevante no desenvolvimento de sistemas de software, uma vez que decisões arquiteturais influenciam propriedades não funcionais e os compromissos estabelecidos entre diferentes requisitos do sistema. Revisões bibliométricas sobre arquitetura de software evidenciam a amplitude das pesquisas relacionadas à definição e avaliação de arquiteturas diante de diferentes requisitos e contextos de aplicação (NEVES et al., 2025). No *StoneChain*, a arquitetura foi definida prioritariamente em função dos requisitos de integridade, auditabilidade, descentralização e permanência documental, mantendo-se a separação entre apresentação, lógica de aplicação e persistência como mecanismo de organização do protótipo.

O fluxo de publicação ocorre em três etapas: autenticação por assinatura digital, preparação da transação utilizando os metadados (*Content-Type, File-Name, File-Size, Upload-Date*) e envio da transação à *blockchain* assinada pelo usuário. Dessa forma, o backend não precisa acessar as chaves privadas dos usuários, em conformidade com os princípios de descentralização revisados por Coelho e Brandão (2019). A *Transaction ID* (TX ID) produzida funciona como referência primária e única para recuperação futura por meio da função *arweave.transactions.getData()* ou por *gateways web*. Os metadados são acessados no índice *SQLite* local ou na própria rede, e o conteúdo é acessado diretamente da *blockchain* mediante ID de transação. A disponibilidade dos documentos persiste mesmo na supressão do servidor local, mediante qualquer gateway de *Arweave* disponível. A integração com o *ViewBlock (https://viewblock.io/arweave)* disponibiliza auditabilidade pública e permite auditorias independentes da existência, carimbo de tempo e integridade dos documentos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação da prova de conceito *StoneChain* permitiu avaliar, de forma empírica, a viabilidade técnica do modelo identificado na literatura e validar os princípios discutidos na

fundamentação teórica. Esta seção discute esses achados, interpretando seus impactos para o armazenamento integral de documentos e para a gestão documental de longo prazo.

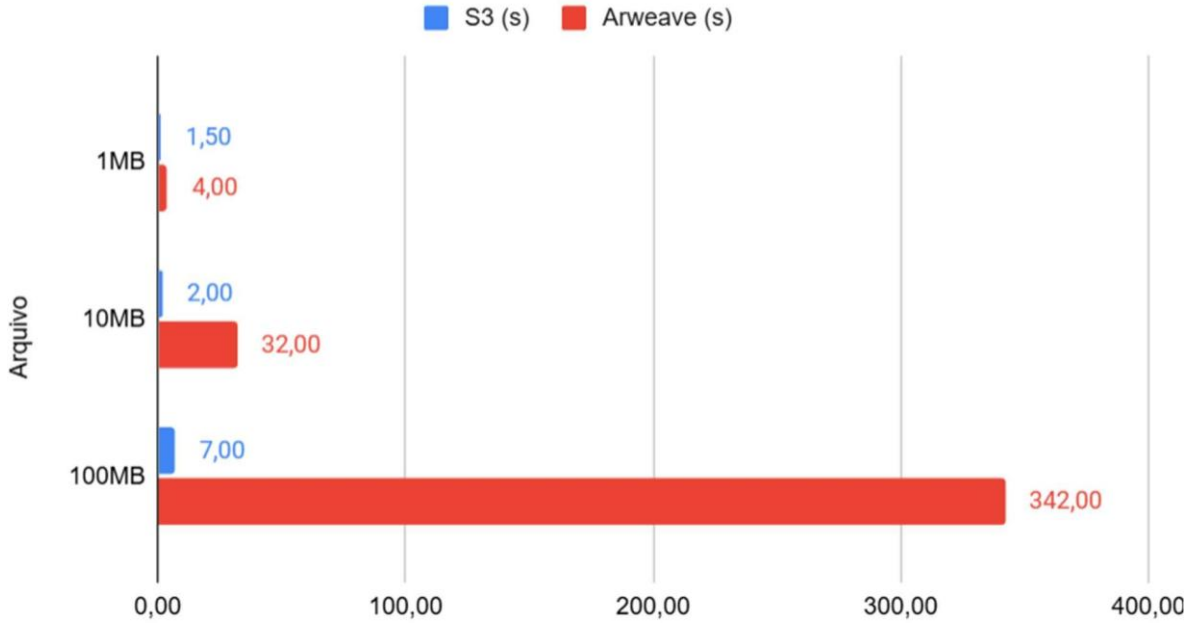
### 4.1 Validação Funcional dos Conceitos

O protótipo demonstrou com sucesso os pilares identificados na fundamentação teórica. A descentralização foi implementada em dois níveis: autenticação sem autoridade central, por meio de verificação de assinaturas utilizando o método *signMessage()* da carteira *Wander/ArConnect*, e armazenamento distribuído na rede *Arweave*. Testes confirmaram acesso aos documentos por múltiplos *gateways (arweave.net, g8way.io, ar-io.dev)*, demonstrando resiliência contra pontos únicos de falha. A permanência foi validada por documentos que permaneceram acessíveis exclusivamente via TX ID mesmo após reinicializações completas do servidor. A auditabilidade pública por exploradores (*ViewBlock* e *ArScan*) permitiu verificação independente de existência, *timestamp*, *hash* criptográfico SHA-256 do conteúdo e identidade do autor por meio das tags de metadados implementadas, concretizando a transparência radical discutida por Yunianto et al. (2019). A estrutura de *tags* essenciais (*Content-Type, File-Name, File-Size, Upload-Date, Owner, Content-Hash, Path, Parent-Folder-ID, Document-Version, App-Name, App-Version*) permite auditoria granular sem necessidade de acesso ao sistema *StoneChain*. A verificação de assinatura por *arweave.crypto.verify()* garante não-repúdio criptográfico.

### 4.2 Análise de Desempenho e Viabilidade

O processo de upload apresentou latência média de 5,5 minutos para arquivo de 100 MB, incluindo preparação da transação, assinatura pelo usuário e submissão à rede. Para arquivos pequenos (< 1 MB), o tempo reduziu-se para 2 a 5 segundos. A Figura 3 ilustra essa relação entre tamanho do arquivo e latência, evidenciando crescimento progressivo à medida que o conteúdo aumenta. Embora superior a bancos de dados centralizados, essa latência é comparável a outras *blockchains* públicas e aceitável para aplicações documentais que não requerem latência de milissegundos.

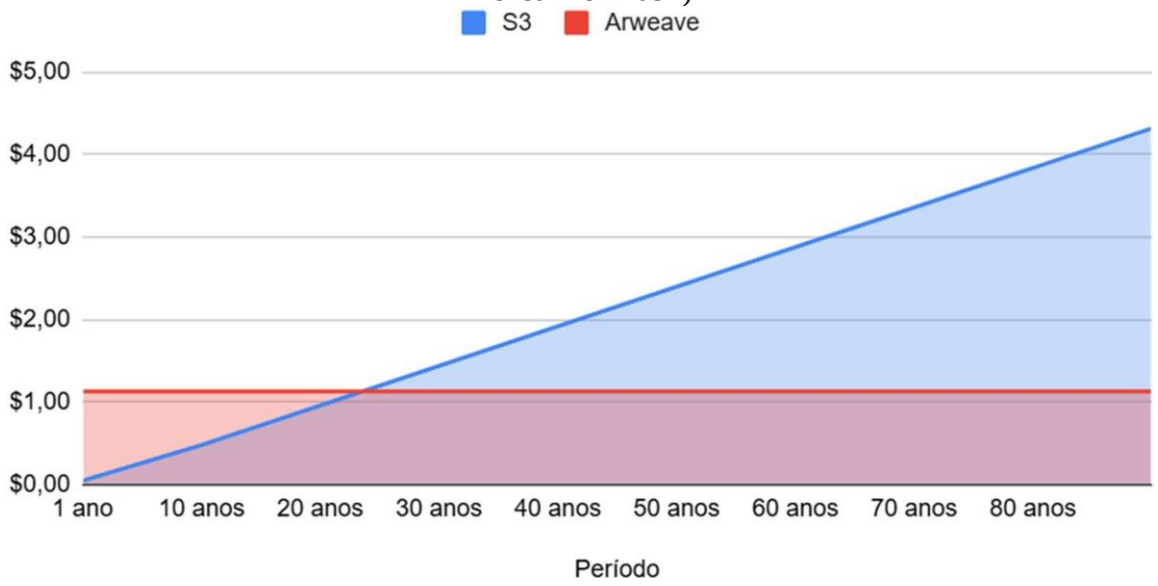
Figura 3: Relação entre tamanho do arquivo e latência média de upload.




Fonte: Os autores

O custo real medido foi de 0,26 AR (aproximadamente U$ 1,32 ) para arquivo de 100 MB , equivalente a U$ 1,32) para arquivo de 100 MB, equivalente a U$ 13,20 por GB. Comparado ao custo mensal do AWS S3 Standard na região São Paulo (US$ 0,0405 por GB/mês), o custo acumulado do S3 iguala-se ao valor pago uma única vez no *Arweave* após aproximadamente 27 anos de retenção contínua. A Figura 4 apresenta essa curva de custo acumulado, evidenciando o ponto de cruzamento entre os modelos de pagamento recorrente e pagamento único. Embora o *Arweave* apresente custo inicial mais elevado, torna-se mais econômico em cenários de preservação de longo prazo, corroborando as observações de Leal-Narváez et al. (2025) sobre a adequação de redes permanentes para fins arquivísticos.

Figura 4: Comparação de custo acumulado: Arweave (pagamento único) × AWS S3 (custo mensal no Brasil)




Fonte: Os autores

Quando comparado a sistemas tradicionais como *AWS S3* e *Google Cloud Storage*, o *StoneChain* apresenta características únicas para documentos de alto valor probatório. Embora apresente maior latência e custo inicial por gigabyte, a imutabilidade nativa, a independência de provedores, a auditabilidade pública e o modelo de pagamento único tornam a solução mais favorável para preservação de longo prazo. Essa diferença não é apenas tecnológica, mas conceitual: enquanto S3 e GCS dependem de políticas internas de versionamento e confiança no provedor, o *StoneChain* desloca a garantia de integridade para uma rede pública descentralizada, reduzindo riscos institucionais.

### 4.3 Limitações e Desafios

Algumas características da aplicação apresentaram-se como desafios. A barreira de entrada para usuários não técnicos decorre da necessidade de carteiras e *tokens* AR. A ausência de criptografia de conteúdo no protótipo atual torna-o adequado apenas para documentos públicos.

Outro ponto de atenção é a dependência de gateways HTTP para acesso prático, embora os vários gateways públicos existentes mitiguem esse risco. O tempo de upload e o custo do armazenamento, ambos superiores aos das soluções tradicionais, podem exigir curadoria mais cuidadosa na definição do que é armazenado de forma permanente.

Além dos desafios técnicos, a adoção de novas tecnologias por pequenas organizações pode ser limitada pelo desconhecimento sobre seus benefícios e pela dificuldade de perceber o

valor agregado de serviços especializados, aspecto observado também no contexto da consultoria jurídico-tributária para pequenos empreendedores (LIMA; SILVA, 2024).

A questão da privacidade é crítica para a adequação à LGPD/GDPR, especialmente em arquiteturas nas quais documentos podem permanecer armazenados de forma permanente em redes distribuídas. Nesse contexto, medidas como minimização de dados, controle de acesso, privacidade por padrão e proteção desde a concepção constituem requisitos relevantes para sistemas de software de pequeno porte (PEDRINI; CARVALHO, 2025).

Trabalhos futuros devem implementar criptografia *client-side* com "esquecimento funcional" por meio de descarte controlado das chaves usadas para criptografar os documentos antes de armazená-los na *blockweave*, mantendo *hashes* verificáveis *on-chain* mas tornando o conteúdo inacessível, conforme sugerido por Kijas e Zalewski (2023).

### 4.4 Implicações para a Gestão Documental

Os resultados indicam que o modelo híbrido onde *blockchain* serve os documentos críticos (contratos, diplomas, registros legais) com requisitos de imutabilidade e auditabilidade, enquanto repositórios tradicionais atendem documentos operacionais. Esta estratégia de classificação documental otimiza custos enquanto maximiza confiabilidade onde necessário.

A auditabilidade pública tem potencial transformador para setores regulados: auditores externos podem verificar independentemente a integridade de registros sem acesso aos sistemas internos da organização, reduzindo custos de *compliance* e aumentando transparência.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou o armazenamento integral de documentos em *blockchain* por meio de revisão bibliográfica, análise bibliométrica e desenvolvimento de prova de conceito, confirmando a viabilidade técnica do modelo de armazenamento proposto pela literatura recente.

O modelo econômico de pagamento único do *Arweave* mostrou-se competitivo para preservação de longo prazo (> 20 anos), adequando-se particularmente a setores com elevados requisitos de auditabilidade: documentos legais, diplomas acadêmicos, registros de saúde e publicações científicas.

Persistem, contudo, desafios de barreira de entrada, latência e privacidade compatível com LGPD/GDPR. Trabalhos futuros devem abordar a criptografia de documentos com

esquecimento funcional das chaves para adequação legal, estudos empíricos sobre aceitação jurídica em diferentes jurisdições e o desenvolvimento de interfaces que eliminem barreiras técnicas, incluindo estudos de caso em diferentes setores (como educação, administração pública, saúde e pesquisa científica) para avaliar a aceitação prática do modelo por usuários não técnicos.

A principal conclusão é que a gestão documental caminha para modelos híbridos inteligentes: *blockchain* para documentos críticos que requerem garantias máximas de integridade, e sistemas tradicionais para documentos operacionais. A tecnologia alcançou maturidade técnica para aplicações no mundo real; cabe agora aos gestores e legisladores construir frameworks organizacionais, legais e metodológicos para sua implementação responsável.

## 6. REFERÊNCIAS

BATISTA, Alessandra Giselle Silva; AROUCA, Marcia Waimer Spinola; LOBATO, Fábio Manoel Franca. Estratégias de digitalização comunicacional para Micro e Pequenas Empresas como promotoras da inovação e competitividade. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 18, n. 3, p. 60-79, 2024. DOI: https://doi.org/10.6034/rmpe.v18i3.1982

BENET, Juan. **IPFS**: content addressed, versioned, P2P file system. arXiv, 2014. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1407.3561.

BENISI, Nazanin Zahed; AMINIAN, Mehdi; JAVADI, Bahman. Blockchain-based decentralized storage networks: a survey. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 162, art. 102656, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102656.

CARVALHO, Matheus Almeida de; PEDRINI, Júlio César Ferreira. Engenharia social no ambiente acadêmico: vulnerabilidade humana e estratégias de conscientização em instituições de ensino superior. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 19, n. 1, p. 139-154, 2025. DOI: https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i1.2170

COELHO, Flávio Codeço; BRANDÃO, Adeilton. Decentralising scientific publishing: can the blockchain improve science communication? **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 114, e190257, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/0074-02760190257.

DAS, Moumita; TAO, Xingyu; CHENG, Jack C. P. A secure and distributed construction document management system using blockchain. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 18., 2020. **Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering**. Cham: Springer, 2021. p. 850-862. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_59.

KHALID, Muhammad Irfan et al. A comprehensive survey on blockchain-based decentralized storage networks. **IEEE Access**, v. 11, p. 10995-11015, 2023. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3240237.

KIJAS, Szymon; ZALEWSKI, Andrzej. Blockchain-based architecture of immutable document repository. In: **European Conference On Software Architecture, 2022. Software**

**Architecture: Ecsa 2022 Tracks And Workshops**: Prague, Czech Republic, September 19-23, 2022, Revised Selected Papers. Cham: Springer, 2023. p. 3-10. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36889-9.

LEAL-NARVÁEZ, Nallig; TORRES-PIMIENTO, Danilo; LEAL-NARVÁEZ, Esmeide; RAMOS-TORRES, Fabián; BAQUERO-TOBÍAS, Andrea; DÍAZ-SÁENZ, Carlos Gabriel. Blockchain e ingeniería del software: tendencias en requerimientos, bases de datos, desarrollo y arquitectura de sistemas. **Respuestas**, v. 30, n. 2, p. 42-69, 2025. DOI: https://doi.org/10.22463/0122820X.5145.

LIMA, Jorranes Jacomini Nicolau de; SILVA, Fabio Pereira da. A percepção dos pequenos empreendedores sobre a consultoria jurídico-tributária. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 18, n. 1, p. 130-149, 2024. DOI: https://doi.org/10.6034/rmpe.v18i1.1878

MAHLABA, James; MISHRA, Amit Kumar; PUTHAL, Deepak; SHARMA, Pradip Kumar. Blockchain-based sensitive document storage to mitigate corruptions**. IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 12635-12647, 2024. DOI: https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3183867.

NEVES, Ana Clara Moledo et al. Arquitetura de Software para Eficiência Energética: Uma revisão Bibliométrica. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 19, n. 1, p. 21-40, 2025. DOI: https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i1.2163.

OLIVEIRA, Ricardo Lair Franco; SILVA, Luciano Ferreira da; PENHA, Renato; BIZARRIAS, Flávio Santino. Gestão de projetos em pequenas e médias empresas. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 18, n. 2, p. 134-159, 2024. DOI: https://doi.org/10.6034/rmpe.v18i2.1957.

PEDRINI, Júlio César Ferreira; CARVALHO, Matheus Almeida de. Diretrizes para aplicação da LGPD em sistemas de software de pequeno porte. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 19, n. 1, p. 1-20, 2025. DOI: https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i1.2171.

PEYYALA, Jashuva. A survey on blockchain based documentation verification. International **Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, v. 10, n. 4, p. 2457-2460, 2022. DOI: https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41843.

PROTOCOL LABS. **Filecoin**: a decentralized storage networ. Protocol Labs, 2017. Disponível em: https://research.protocol.ai/publications/filecoin-a-decentralized-storage-network/protocollabs2017a.pdf. Acesso em: 30 abr. 2025.

WILLIAMS, Sam; DIORDIIEV, Viktor; BERMAN, Lev; RAYBOULD, India; UEMLIANIN, Ivan. Arweave: a protocol for economically sustainable information permanence. [S. l.]: **Arweave**, 2019. Disponível em: https://www.arweave.org/yellow-paper.pdf. Acesso em: 30 Abr. 2025.

YUNIANTO, Eko; PRAYUDI, Yudi; SUGIANTORO, Bambang. B-DEC: digital evidence cabinet based on blockchain for evidence management. **International Journal of Computer Applications**, v. 181, n. 45, p. 22-29, 2019. DOI: https://doi.org/10.5120/ijca2019918580.