



BLOCKCHAIN COMO MECANISMO PARA ASSEGURAR A INTEGRIDADE EM LICITAÇÕES PÚBLICAS NA MODALIDADE CONCORRÊNCIA

BLOCKCHAIN AS A MECHANISM FOR ENSURING INTEGRITY IN PUBLIC PROCUREMENT IN THE COMPETITIVE BIDDING MODALITY

Erick Azevedo SOUSA
Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS)
E-mail: azevedoerick@unitins.br
ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-7978-9341>

Alex COELHO
Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS)
E-mail: alex.c@unitins.br
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1576-7242>

76

RESUMO

A presente pesquisa investiga a aplicação da tecnologia blockchain, em sinergia com o *InterPlanetary File System*, como mecanismo para assegurar a integridade, transparência e eficiência em licitações públicas na modalidade concorrência. Partindo de uma abordagem aplicada e exploratória, foi realizado um mapeamento sistemático da literatura com base no protocolo PRISMA-Scr, complementado por uma análise técnico-jurídica-operacional dos principais desafios e oportunidades na adoção dessa tecnologia no setor público. Os resultados evidenciam que a blockchain permissionada, aliada ao armazenamento descentralizado do IPFS, contribui significativamente para a imutabilidade dos registros, a auditabilidade dos processos e a redução de vulnerabilidades associadas à manipulação de dados. A proposta foi validada por meio do desenvolvimento de um protótipo funcional, que simula um processo licitatório em quatro camadas (cliente, *backend*, blockchain e armazenamento), utilizando tecnologias como Hyperledger Besu, Node.js e AdonisJS. Os testes realizados demonstraram benefícios em termos de governança, rastreabilidade e resiliência do sistema. Contudo, também foram identificados desafios operacionais e técnicos, como a necessidade de controle de nonce, tratamento de erros em filas assíncronas e dependência de infraestrutura híbrida.

Palavras-chave: Blockchain. IPFS. Licitação pública.

ABSTRACT

This research investigates the application of blockchain technology, in synergy with the InterPlanetary File System (IPFS), as a mechanism to ensure integrity, transparency, and efficiency in public procurement under the competitive bidding modality. Adopting an applied and exploratory approach, a systematic literature mapping was conducted based on the PRISMA-Scr protocol, complemented by a technical, legal, and operational analysis of the main challenges and opportunities related to the adoption of this technology in the public sector. The results show that a permissioned blockchain, combined with decentralized IPFS storage, significantly contributes to the immutability of records, process auditability, and the reduction of vulnerabilities associated with data manipulation. The proposal was validated through the development of a functional prototype simulating a bidding process structured in four layers (client, backend, blockchain, and storage), using technologies such as Hyperledger Besu, Node.js, and AdonisJS. The tests demonstrated substantial benefits in terms of governance, traceability, and system resilience. However, operational and technical challenges were also identified, such as the need for nonce management, error handling in asynchronous queues, and dependence on hybrid infrastructure.

Keywords: Blockchain. IPFS. Public bidding.

INTRODUÇÃO

A tecnologia blockchain, conforme descrita por Satoshi Nakamoto (2008) em seu artigo "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*", representou um avanço significativo na forma como dados digitais podem ser armazenados e compartilhados de maneira segura e descentralizada. Conforme o autor a blockchain consiste em um tipo de tecnologia de registro distribuído (*Distributed Ledger Technology* - DLT), que se caracteriza pela imutabilidade, transparência e segurança dos dados. Cada bloco contém um conjunto de transações validadas e um *hash*¹ que referencia o bloco anterior, formando uma cadeia criptográfica segura. Essas propriedades tornam a

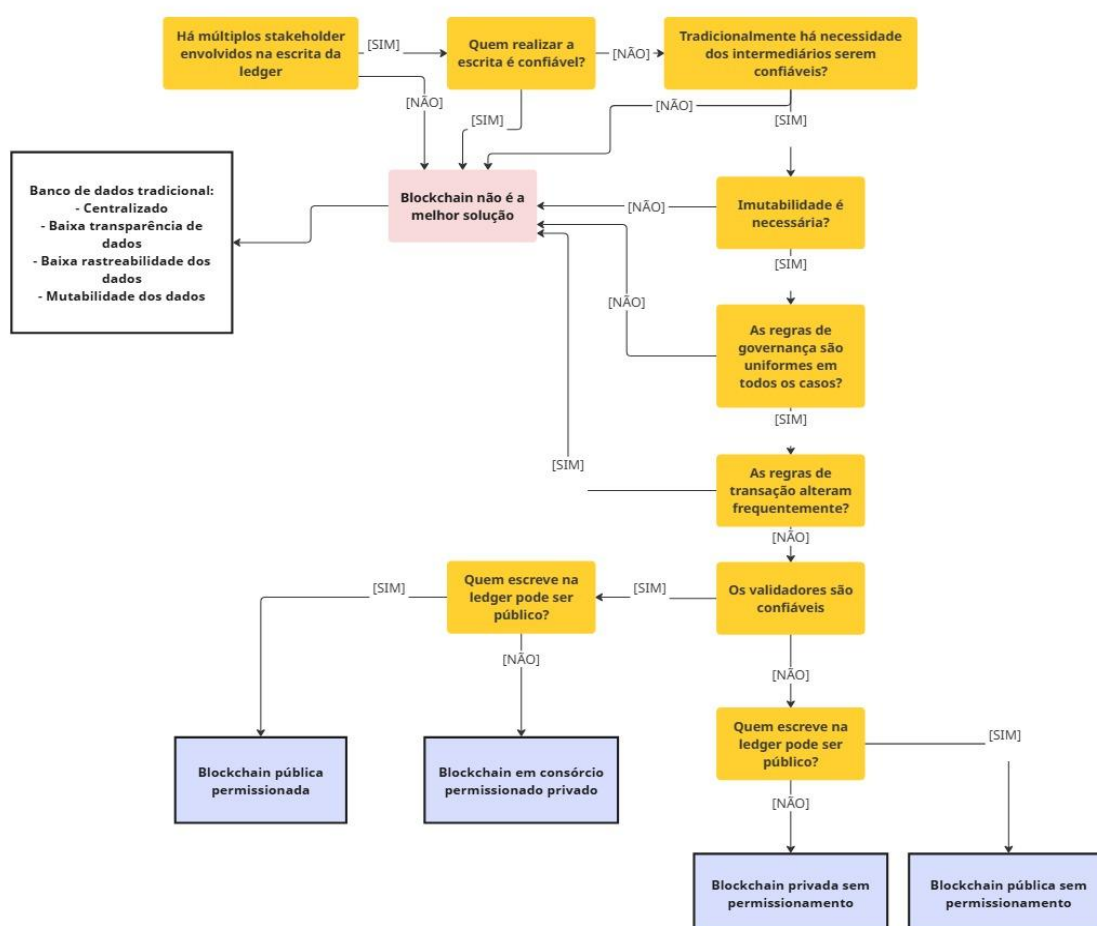
¹ Um hash é o resultado de uma função matemática que transforma dados de tamanho variável em uma saída de tamanho fixo, servindo para garantir integridade e segurança da informação. Essas funções devem ser determinísticas, rápidas e resistentes a colisões, como descrito por (Vanstone, Menezes e Oorschot, 1996).

blockchain particularmente adequada para aplicações que demandam integridade e rastreabilidade (Nakamoto, 2008).

É importante citar que conforme o Tribunal de Contas da União (2020), não se deve adotar uma solução DLT por modismo ou entusiasmo em um serviço centralizado que está funcionando bem e tem custo controlado, devendo a organização ter consciência do "por que" da adoção do modelo descentralizado e distribuído das tecnologias *blockchain* e seu impacto para o negócio e a melhora aos serviços públicos obtidas com sua aplicação.

Ainda, neste mesmo sentido, de acordo o estudo de Nodehi, Grilo e Rizvanovic (2022) (Nodehi, Grilo e Rizvanovic, 2022) levantam cenários da real necessidade de adoção, que podem fazer sentido ou não quanto ao uso de *blockchain*, isso em contrapartida ao invés a um banco de dados tradicional.

Figura 1: Roteiro de análise de adoção de soluções blockchain.



Neste sentido, um dos campos em que a blockchain apresenta potencial transformador é a gestão pública, especialmente como nos casos do processo licitatório. O processo licitatório é definido como "uma categoria de processos administrativos que o Estado emprega para escolher objetivamente com quem contratará ou, em certos casos, quem se beneficiará de um ato administrativo, como o de outorga de uso de bens públicos" (Marrara, 2023).

Embora esse processo tenha como objetivo garantir a igualdade de condições entre os concorrentes e assegurar a melhor proposta para a Administração Pública, este enfrenta desafios críticos como ineficiências, falta de transparência e riscos de corrupção (Cardoso, Cerqueira, & Andrade, 2021).

Nesse contexto, a blockchain emerge como uma ferramenta interessante para mitigar esses problemas. Sua capacidade de registrar transações de forma transparente e imutável pode aumentar a confiabilidade e a segurança dos processos administrativos. Além disso, a utilização do *InterPlanetary File System* (IPFS) em sinergia com a blockchain permite o armazenamento descentralizado de documentos de grande volume, garantindo a integridade e a disponibilidade das informações.

Assim, este estudo tem por objetivo propor a implementação de uma blockchain permissionada e privada, em conjunto com o IPFS, e assim investigar como melhorar a transparência, a segurança e a eficiência no processo licitatório. Por meio de uma descrição e análise detalhada do funcionamento dessas tecnologias, bem como sua exploração em casos de uso reais e do desenvolvimento de um protótipo, o trabalho busca demonstrar a viabilidade e os benefícios dessa abordagem para a gestão pública.

METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu em uma pesquisa em que se adotou uma revisão bibliográfica, em que foram realizados levantamentos referenciais teóricos para o entendimento dos diversos elementos conceituais que possibilitam a implementação e uso do blockchain, além da contratação pública. Ainda, a abordagem adotada na pesquisa foi a aplicada, no qual se tem como objetivo solucionar problemas concretos encontrados na realidade por meio de práticas e do desenvolvimento de um produto (Fleury e Werlang, 2017).

Ainda, adotou-se uma abordagem qualitativa, que busca justificar as teses por meio de descrições, comparações, interpretações e atribuição de significados,

permitindo a investigação de valores, crenças, hábitos, atitudes e opiniões de indivíduos ou grupos (Botelho e Cruz, 2013).

Por fim, a proposta tinha objetivo exploratório, em que se procurava desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias para ampliar a compreensão do problema em questão. Para alcançar os resultados, utilizou-se o método dedutivo, que parte de premissas gerais para chegar a conclusões específicas.

Neste sentido, adotou-se o protocolo PRISMA-Scr para pesquisa e mapeamento sistemático da literatura associada ao tem, em que foram realizadas as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

Deste modo, visando a identificação para o mapeamento da literatura, foi proposta inicialmente a construção da *string* de pesquisa que foi aplicada junto a fontes de dados, sendo selecionadas no caso o *Google Scholar* e *SciELO*, utilizando operadores lógicos para refinar os resultados. Ainda, considerando as características do processo de utilização em contratos inteligentes na administração pública brasileira, optou-se por incluir variações terminológicas em português e inglês para os "contratos inteligentes", aumentando a cobertura do levantamento, conforme é demonstrado no Quadro 1. Ainda foi considerado o período de 2021 a 2025 para seleção dos trabalhos.

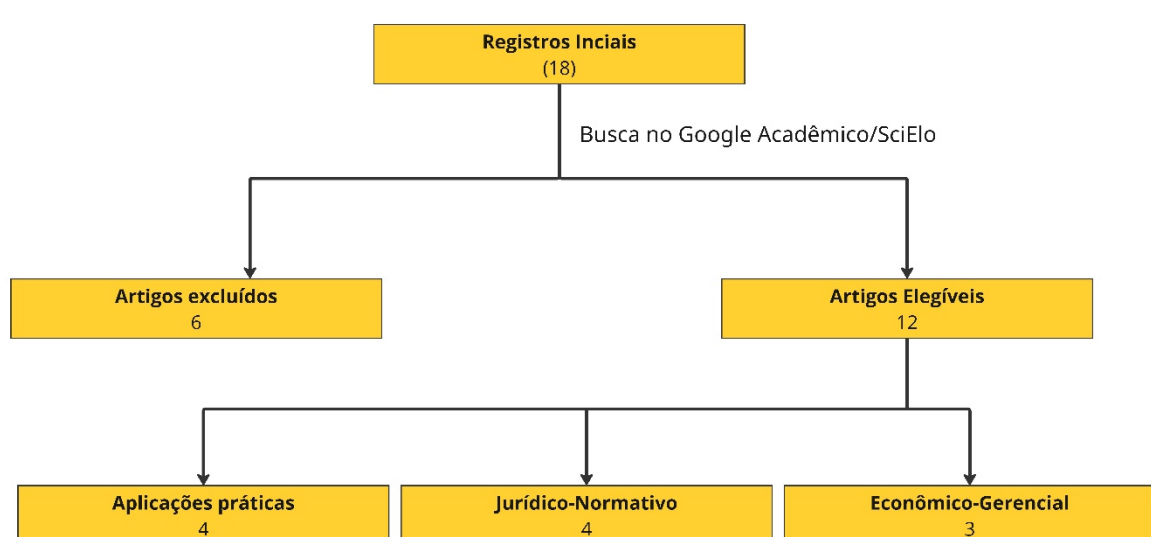
Quadro 1: Clusters de palavras-chave usadas para realizar a pesquisa.

Tópico	Palavras-chave e frases	Resultados encontrados
Blockchain	"licitação pública" AND "blockchain" AND ("smart contracts" OR "contratos inteligentes")	18

Fonte: Elaborado pelos autores

Após, para a triagem, foram definidos critérios de inclusão, selecionando apenas trabalhos em português e com foco em estudos empíricos, análises jurídicas, ou propostas tecnológicas, sendo excluídos estudos sem relação direta com o tema. Assim, para a seleção e categorização, foram identificados 18 artigos, sendo que ao fim da aplicação dos filtros e critérios, restaram 12 artigos, conforme é apresentado na Figura 2.

Figura 1: Fluxograma PRISMA de Seleção de Artigos.



Fonte: Elaborado pelos autores

Nota-se que durante a triagem dos 18 artigos, 6 foram excluídos pois não guardavam relação com o trabalho de acordo com os critérios estabelecidos anteriormente. Após o processo de triagem e elegibilidade, os artigos considerados relevantes foram incluídos no processo de análise, processamento e categorizados de acordo sua importância. Neste sentido, foi utilizada a matriz SWOT - *Strengths* (pontos fortes), *Weaknesses* (pontos fracos), *Opportunities* (oportunidades) e *Threats* (fraquezas).

Com base no mapeamento realizado, foi possível correlacionar aspectos fundamentaram a continuidade do trabalho, como no caso do levantamento de algumas premissas dentro do contexto Técnico-Jurídico e Técnico-Operacional, conforme é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Premissas mapeadas dos estudos correlacionados.

Premissas Mapeadas	
Premissas Técnico-Jurídica	"A adoção de tecnologia blockchain em processos de licitação pública aumenta a integridade sistêmica e a confiança institucional, pois: sua arquitetura descentralizada elimina pontos únicos de falha"; "A transparência auditável em tempo real reduz assimetrias informacionais entre agentes públicos e licitantes (Santana, Teixeira, & Amin, 2024)".
Premissas Técnico-Operacional	"A combinação de blockchain com protocolos IPFS (<i>InterPlanetary File System</i>) otimiza a gestão documental em licitações ao: garantir redundância geográfica dos arquivos (resistência a desastres)";

	"É possível assegurar autenticidade via hash criptográfico vinculado à blockchain"; "Permitir verificação independente por qualquer participante, sem depender de infraestrutura centralizada (Cardoso, Cerqueira, & Andrade, 2021)".
--	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a análise destes pontos quanto aos trabalhos mapeados, a presente proposta passou a considerar tais aspectos como lacunas a serem exploradas, o que passou a nortear o presente trabalho com a proposição quanto a criação da blockchain. Para isso foram consideradas tecnologias para o protótipo do software baseado em blockchain e IPFS. Para isso, o sistema foi desenvolvido em quatro camadas, interligadas por meio de uma API REST Javascript executando no Node.js. Para comunicação com a blockchain foi utilizado o framework AdonisJS e requisições na API GRPC do Ethereum.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção passa a relacionar os resultados do estudo, que demonstram que a aplicação da tecnologia blockchain em processos de licitações públicas possui significativa relevância em termos de transparência, segurança e eficiência. Assim, como parte do estudo, foram obtidos dados relevantes obtidos por meio do mapeamento sistemático da literatura descrito na metodologia, bem como foi desenvolvido um protótipo de software baseado em blockchain e IPFS, permitindo validar a viabilidade da implementação prática dessa tecnologia em licitações públicas.

Resultados do Mapeamento Sistemático da Literatura

Conforme descrito no processo metodológico, após a elegibilidade e seleção com o mapeamento da literatura correlacionada ao tema, passou ao processo de análise de conteúdo, com a leitura e identificação de pontos comuns nos estudos. Assim, foi realizado o levantamento de sua importância considerando o uso da matriz SWOT para identificar forças (pontos relevantes) e fraquezas (desafios) das tecnologias, bem como foram mapeadas as oportunidades e ameaças. O Quadro 3 apresenta uma esquematização sistemática dos artigos trabalhados no mapeamento.

Quadro 3: Síntese sistemática de artigos sobre blockchain, smartcontracts e licitação pública.

Referência	Método	Limitações
(Santana, Teixeira e Amin, 2024)	Análise legislativa	Não testado empiricamente
(Giamberardino, 2024)	Estudo de caso múltiplo	Apenas 3 casos analisados
(Nóbrega e Torres, 2020)	Pesquisa-ação	Implementação parcial
(Cardoso, Cerqueira e Andrade, 2021)	Design Science	Escala piloto
(Maia, Oliveira e Rocha, 2024)	Pesquisa experimental	Testado em ambiente controlado
(Vaz, 2020).	Estudo comparativo	Dados limitados
(Primo, 2022)	Revisão sistemática	Sem validação empírica
(Cesar <i>et al.</i> , 2022)	Estudo de caso	Requer infraestrutura
(Aveni, 2022)	Pesquisa qualitativa	Foco específico
(Silka, 2022)	Teoria crítica	Abordagem conceitual
(Reis, Andrade e Arraes, 2022)	Análise documental	Sem dados quantitativos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se que dentre os casos de aplicação da blockchain mais frequentes envolviam licitações de obras rodoviárias (5 artigos) e e-marketplaces governamentais (3 artigos). Assim, foi realizada a análise das variáveis para melhor classificação categorizando os trabalhos como "Aplicações práticas", "Jurídico-Normativo" e "Econômico-Gerencial". Nesta proposta, com os artigos revisados, foi verificado que três categorias de benefícios se destacavam na adoção de *blockchain* e *smartcontracts* em licitações públicas, sendo:

- i. A transparência, citada em 83% dos estudos (10/12 artigos), com ênfase na rastreabilidade das etapas (Santana, Teixeira e Amin, 2024);
- ii. A redução de custos, especialmente em fiscalização de obras (Giamberardino, 2024); e,
- iii. Os ganhos de eficiência, como automatização de fases do edital (Nóbrega e Torres, 2020).

Contudo, também foram identificadas barreiras críticas, como: a resistência institucional à mudança de paradigma (Cardoso, Cerqueira e Andrade, 2021) e as lacunas legais quanto à validade jurídica de contratos autoexecutáveis, como mencionado por Cardoso, Cerqueira e Andrade (2021). Ainda, a análise SWOT revelou

ainda fraquezas de desafios técnicos como interoperabilidade com sistemas legados em 42% dos estudos e dependência de infraestrutura digital em 33% destes.

Quanto as oportunidades mapeadas, nota-se aspectos importantes como a integração, conforme descrito no trabalho "*Building Information Modeling (BIM)*" (Cesar *et al.*, 2022) no qual é descrita a potencial economia de R\$ 2,1 bi/ano no Brasil (TCU, 2020). Já quanto as ameaças, nota-se aspectos importantes como os que envolvem os riscos de concentração em poucos fornecedores de tecnologia (Aveni, 2022).

A revisão ainda apresentou duas limitações centrais que podem tornar o processo mais complexo: (i) o viés das publicações, com predominância de estudos teóricos (8/12 artigos) sobre empíricos, o que pode superestimar benefícios teóricos em detrimento de desafios práticos; e (ii) a cobertura temporal restrita (2020-2024), decorrente da novidade do tema, que ainda carece de dados de longo prazo.

Uma vez relacionados os principais pontos tratados nos trabalhos mapeados, foi possível desprender-se que há uma série de elementos a serem amadurecidos quanto a temática, abrindo espaço para a implementação do protótipo da solução em questão, com o aproveitamento de lacunas e oportunidades verificadas.

Protótipo da Solução

Considerando a complexidade e a extensão do processo licitatório, optou-se por desenvolver um protótipo funcional com um escopo reduzido, mas que contemplou as principais funcionalidades para validar a viabilidade da aplicação. Para garantir a aderência aos objetivos do sistema, foi realizada a identificação e documentação dos requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF), que descrevem os comportamentos e serviços esperados do sistema.

Os requisitos funcionais que consistem em declarações dos serviços que o sistema deve fornecer e o modo como deve reagir a determinadas entradas e de como deve se comportar em determinadas situações. Sendo assim, os requisitos funcionais representam o "o quê" o sistema deve realizar. A Tabela 1 apresenta os requisitos funcionais levantados para a solução proposta, detalhando as principais operações que o sistema deve executar.

Tabela 1: Requisitos Funcionais do protótipo da solução.

Identificador	Descrição
RF001	Licitante deve poder realizar o registro no sistema
RF002	Licitante deve poder visualizar as licitações abertas e concluídas
RF003	Licitante deve poder realizar candidatura em licitação aberta
RF004	Licitante deve poder visualizar as próprias candidaturas
RF005	Administrador deve poder realizar o cadastro de uma licitação
RF006	Ao um arquivo (artefato da licitação ou documento ser enviado) ser enviado, deve ser armazenado de forma distribuída permitindo a identificação dele por um <i>hash</i>
RF007	O administrador deve poder cadastrar os artefatos da licitação
RF008	O sistema deve automaticamente atualizar a situação da licitação com base nos dados cadastrados
RF009	Um usuário deve poder gerar o seu par de chaves
RF010	Um administrador deve poder gerar o par de chaves para um usuário já existente
RF011	Um par de chaves deve ser gerado no cadastro de usuário
RF012	Deve ser possível realizar o download de algum documento enviando apenas o <i>hash</i> dele
RF013	Deve ser possível consultar as licitações
RF014	Um licitante deve poder ser candidatar apenas em qualquer licitação, mas se por acaso o setor de atuação não for o mesmo, a candidatura do qual deve possuir menor prioridade e/ou nenhuma.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os requisitos funcionais descritos foram definidos com base nas necessidades funcionais essenciais para a operacionalização do sistema, bem como a análise das oportunidades e pontos a serem explorados decorrentes do mapeamento sistemático dos trabalhos levantados.

Quanto aos requisitos não funcionais, estes são aqueles que não possuem uma relação direta com os serviços específicos fornecidos pelo sistema aos seus usuários (Sommerville, 2019). Conforme o descrito anteriormente, os requisitos funcionais em si não representam uma funcionalidade direta que deverá ser fornecida ao usuário, no entanto, a eles deve haver enorme atenção, tendo em vista que representam requisitos geralmente de segurança, desempenho ou confiabilidade.

A seguir, a Tabela 2 apresenta a tabela com os requisitos não funcionais levantados para a solução proposta, detalhando os pontos em que se deve levar maior

cuidado na aplicação, perceptivelmente eles vão desde questões de segurança e testes até padronização.

Tabela 2: Requisitos não funcionais do protótipo.

Identificador	Descrição
RNF001	O administrador/licitante deve possuir um par de chaves que identifique apenas a ele na blockchain
RNF002	O sistema deve possuir controle de cargos e permissões, a depender das permissões o usuário deve ou não poder acessar determinado recurso
RNF003	Ao ocorrer um erro no sistema, o qual deve apresentar uma mensagem em uma estrutura JSON padronizada, contendo um código do erro que aconteceu, mensagem do erro, chave que indique que houve um erro
RNF004	A aplicação deve conter testes automatizados para todo o fluxo principal da aplicação
RNF005	O licitante deve ter dados armazenados na blockchain
RNF006	A licitação deve ter dados armazenados na blockchain
RNF007	Os documentos devem ser armazenados no IPFS, cada documento deve ter no máximo 10MB
RNF008	Todas as ações que envolvam escrita devem estar contidas em transações, em caso de sucesso deve-se realizar o <i>commit</i> , em caso de erro, <i>rollback</i> .
RNF009	O sistema deve utilizar um banco de dados isolado para a execução de testes automatizados.

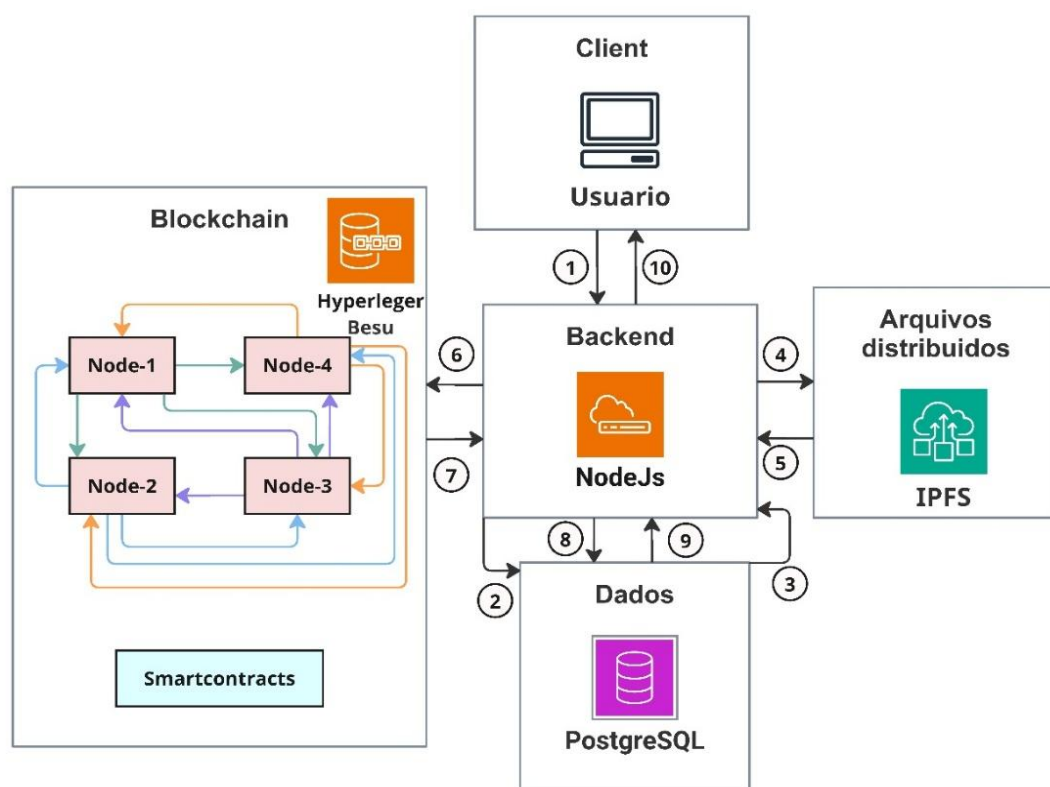
Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma vez correlacionados os requisitos não funcionais, resultando na base para atendimento das necessidades percebidas e importantes para realização dos fluxos, passou-se a trabalhar na definição da arquitetura da solução.

Assim, na arquitetura proposta da solução integrou-se tecnologias descentralizadas e convencionais para assegurar a integridade, disponibilidade e rastreabilidade dos dados. O sistema no caso foi composto por quatro camadas principais: cliente, *backend*, *blockchain* e armazenamento distribuído, que passaram a ser interligadas por meio de uma API REST Javascript executando no Node.js.

Para isso, ainda foi utilizando o framework AdonisJS, com o *backend* se comunicando com a blockchain por meio de requisições na API GRPC do Ethereum. O fluxo de informações entre os componentes ocorreu em 10 etapas, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Arquitetura da solução de comunicação com blockchain.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 3 conforme citado, representa a arquitetura da solução e como se propõe a funcionar para que ocorra o envio de uma transação para a blockchain, realizando-se assim o seu registro e consequente garantia de imutabilidade, auditabilidade e distribuição, no qual:

- 1) A interação do cliente ocorre por meio de uma interface gráfica, que envia requisições HTTP para uma API REST no *backend*, abrangendo operações como inserção e recuperação de dados, além da obtenção de arquivos armazenados;
- 2) O *backend* realiza a validação das informações recebidas e as persiste em um banco de dados relacional PostgreSQL;
- 3) O banco de dados confirma a operação e retorna o resultado à API REST, assegurando a integridade e a consistência dos dados antes da continuidade do processamento;
- 4) Em operações que envolvem documentos ou arquivos digitais, o *backend* armazena esses objetos no IPFS, sendo o sistema descentralizado que

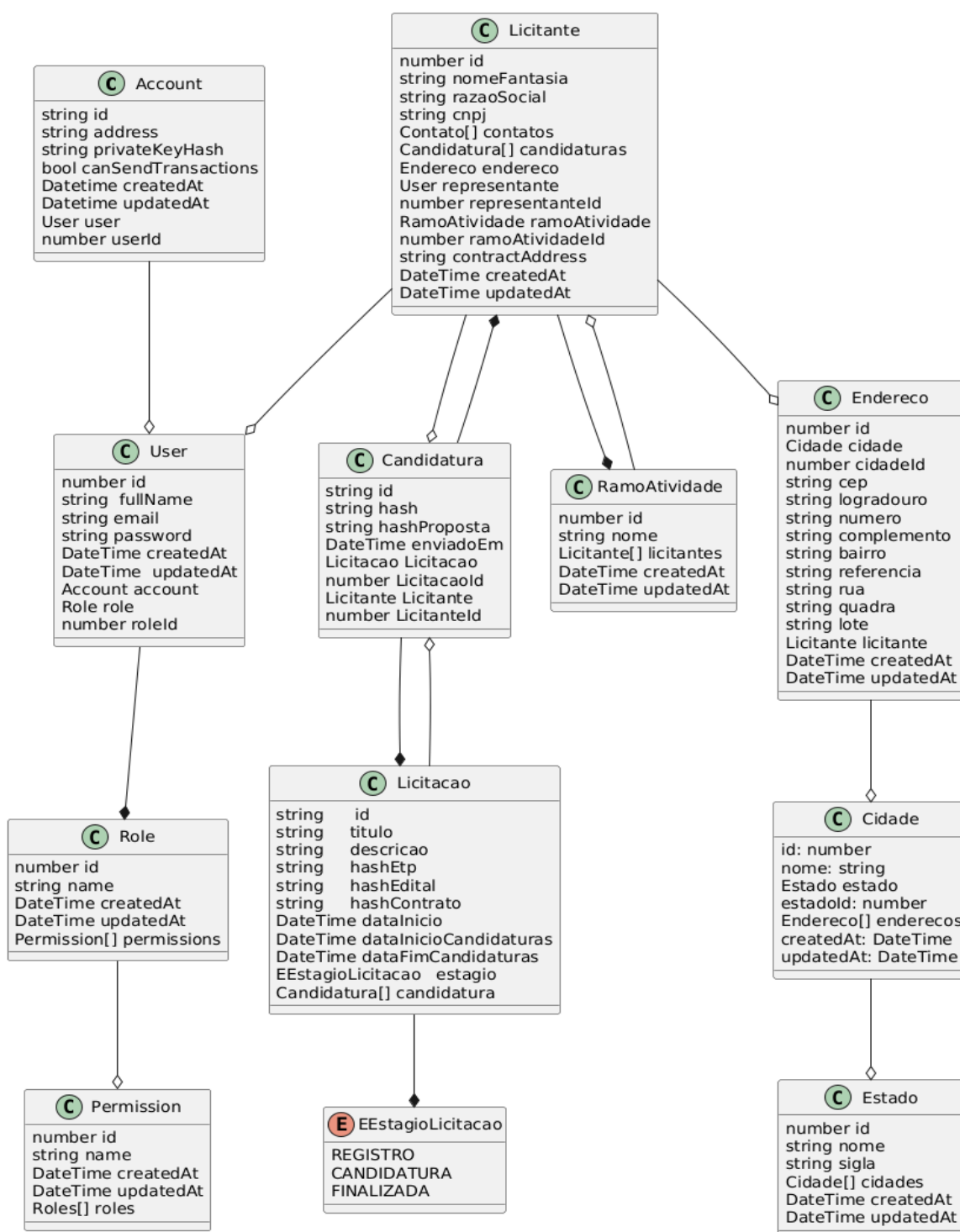
gera um *Content Identifier* (CID), servindo como identificador único baseado no conteúdo do arquivo;

- 5) Após a conclusão do armazenamento, o IPFS retorna o CID ao *backend*, permitindo sua vinculação com a transação registrada na *blockchain Hyperledger Besu*, onde os metadados essenciais são gravados para garantir imutabilidade e auditabilidade;
- 6) O mecanismo de consenso da *blockchain* válida a transação e retorna um *hash* criptográfico que comprova a efetivação do registro, sendo este armazenado no banco de dados PostgreSQL para fins de rastreabilidade e auditoria;
- 7) A API REST, além de persistir no banco de dados os metadados da transação, armazena as informações associadas ao CID, garantindo a integridade da relação entre os dados no IPFS e na *blockchain*;
- 8) O banco de dados confirma a operação e retorna à validação ao *backend*, consolidando o processo de persistência;
- 9) Finalmente, o *backend* responde ao cliente com a confirmação da operação, fornecendo os identificadores da transação registrada, incluindo o CID do IPFS e o *hash* gerado na *blockchain*, assegurando transparência e verificabilidade das informações;
- 10) O *backend* devolve mensagem ao cliente

O modelo arquitetural proposto permitiu a implementação da solução, no qual a descentralização do armazenamento de arquivos, aliada à imutabilidade garantida pela *blockchain*, assegurou a integridade, segurança e rastreabilidade dos dados manipulados.

Para o desenvolvimento da solução, ainda foi proposto o desenho estrutural com o uso da UML (*Unified Modeling Language*), considerando assim o Diagrama de Classes, em que foram relacionadas as entidades implementadas, conforme é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Diagrama de classes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para complementar a validação do modelo proposto, foi desenvolvido um Diagrama Entidade-Relacionamento (DER), com o objetivo de representar graficamente a estrutura lógica do banco de dados utilizada na aplicação. Esse diagrama descreve as principais entidades envolvidas no processo licitatório, como

Usuário, Licitação, Licitante, Candidatura e seus respectivos atributos, além dos relacionamentos entre essas entidades. A modelagem proposta busca garantir a integridade referencial dos dados, facilitar consultas eficientes e refletir diretamente os requisitos funcionais identificados, permitindo que todas as operações de leitura e escrita ocorram de forma consistente, mesmo com a integração com tecnologias descentralizadas como blockchain e IPFS.

Figura 5. Diagrama de entidade relacional.



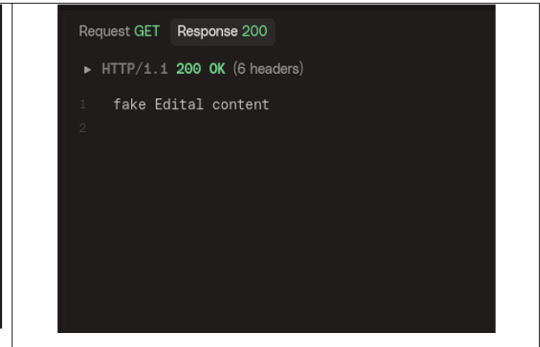
controle de acesso dos usuários. Licitantes, endereços, cidades e ramos de atividade compõem o cadastro dos participantes das licitações. Licitações e candidaturas modelam os processos licitatórios e as propostas enviadas. Transações registram as interações com a blockchain, assegurando rastreabilidade e integridade. Essa estrutura organiza o fluxo de dados entre os processos tradicionais e as operações descentralizadas.

Resultados da Implementação da Aplicação

Uma vez finalizado o processo de definição da arquitetura e estrutura a ser implementada, passou-se ao desenvolvimento e os testes do protótipo, destacando os impactos positivos e negativos da tecnologia. Para tanto, o desenvolvimento da solução foi realizado conforme proposto, observando-se que os impactos verificados no mapeamento sistemático dos outros trabalhos que puderam ser confrontados, permitindo uma análise crítica sobre a viabilidade da adoção da blockchain nesse contexto.

Neste sentido, foi realizada a implementação da API e a resposta à consulta, conforme Figura 6 (a) e (b).

Quadro 4: Resposta da API e ao realizar cadastro e consulta.

	
(a) Resposta ao realizar o cadastro de uma licitação.	(b) Resposta ao realiza consulta do arquivo enviado para o IPFS.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme ilustrado no Quadro 4 (a), ao realizar o cadastro de uma licitação com sucesso, a API retorna os dados da licitação, dentre esses dados há o *hash* do edital e do estudo técnico preliminar, esses *hashes* podem ser usados posteriormente para realizar a consulta dos arquivos da licitação de forma imutável, fundamento esse que se estende também ao envio da candidatura.

Assim, durante o desenvolvimento e a implementação do sistema baseado em *blockchain* para processos licitatórios, diversos aspectos foram analisados, evidenciando tanto vantagens quanto desafios inerentes à adoção dessa tecnologia. A melhoria na transparência foi um dos principais benefícios identificados, corroborando com o mapeamento da literatura que revelou que, em 10 dos 12 artigos examinados, haveria um aumento significativo na transparência e governança dos dados.

Durante o processo de implementação, foi desenvolvido um módulo de registro e consulta dos itens do processo licitatório utilizando tecnologias *blockchain* e IPFS, de forma a assegurar a transparência e a rastreabilidade dos dados. O fluxo de implementação inicia-se com o cadastro de uma nova licitação pelo administrador do sistema. Nesse momento, os dados do processo licitatório são estruturados e convertidos em um *payload JSON* — ou seja, uma estrutura de dados no formato *JavaScript Object Notation* (JSON), que organiza as informações em pares de chave-valor, permitindo a transmissão padronizada entre o sistema *backend* e a *blockchain*.

Esse *payload* inclui dados essenciais como título, descrição, categoria, datas e os *hashs* dos documentos associados à licitação. Após a validação dessas informações pelo *backend*, é disparada uma transação para a *blockchain Hyperledger Besu* por meio da API GRPC, utilizando contratos inteligentes desenvolvidos em *Solidity*. Essa transação grava os metadados da licitação e associa os CIDs gerados no IPFS para os documentos da licitação (como edital, artefatos, ETP). Com isso, cada licitação passa a ter um registro único, imutável e publicamente auditável.

No momento da consulta, o licitante ou qualquer outro usuário pode acessar o painel de licitações públicas, que consome os dados da *blockchain* via API, listando todas as licitações cadastradas, seus *hashs* de transação, CIDs dos documentos e status. A transparência é garantida pois qualquer um pode verificar a integridade do conteúdo: os *hashs* da *blockchain* confirmam que os dados não foram alterados desde sua inserção, e os arquivos hospedados no IPFS podem ser verificados e baixados diretamente pela rede, independentemente do servidor central.

Esse processo garante que todas as etapas – do registro à consulta – sejam auditáveis e não sofram alterações posteriores, atendendo às exigências de integridade e publicidade do processo licitatório, conforme previsto na Lei 14.133/2021.

Durante os testes, a imutabilidade da *blockchain* garantiu que todas as transações e registros do processo licitatório fossem auditáveis e acessíveis em tempo real, reduzindo as oportunidades para manipulações. Além disso, observou-se um aumento na segurança, uma vez que o uso de contratos inteligentes eliminou, em grande parte, a necessidade de intermediários, reduzindo a vulnerabilidade a interferências externas e garantindo que todas as regras estabelecidas no edital fossem cumpridas automaticamente.

Outro fator positivo identificado foi a eficiência operacional, especialmente no que diz respeito ao armazenamento de documentos. A descentralização promovida pelo uso do IPFS proporcionou maior disponibilidade e redundância, eliminando problemas relacionados à perda ou manipulação de arquivos. Essa eficiência pôde ser verificada durante a implementação do protótipo, uma vez que o sistema foi capaz de recuperar os documentos utilizando seus identificadores únicos, chamados CIDs, garantindo sua integridade e disponibilidade mesmo em cenários de falha de componentes centrais.

Embora soluções tradicionais de armazenamento em nuvem, como a *Amazon Web Services* (AWS) e o *Google Cloud Platform* (GCP), também ofereçam alta disponibilidade, o diferencial do IPFS reside na imutabilidade dos registros: uma vez enviados para a rede, os documentos não podem ser editados ou excluídos, salvo se forem removidos de todos os nós participantes. Essa característica agrega um nível adicional de confiabilidade à gestão documental, tornando o sistema mais seguro e resiliente contra tentativas de modificação indevida das informações.

Por outro lado, apesar das vantagens observadas, a implementação da *blockchain* apresentou desafios significativos em comparação a softwares convencionais. Um dos principais desafios identificados foi a maior necessidade de planejamento, uma vez que a análise da literatura não indicou essa questão como um fator crítico, mas, na prática, ficou evidente que a imutabilidade da *blockchain* exige um planejamento meticuloso antes da implementação. Qualquer erro na estrutura do sistema ou nos contratos inteligentes pode comprometer sua funcionalidade a longo prazo, tornando essencial um desenho detalhado da solução antes de sua adoção.

Além disso, a dependência de armazenamento externo surgiu como um ponto de atenção, pois, para garantir a fácil consulta dos blocos, tornou-se necessário armazenar suas referências em um local centralizado, como um banco de dados

tradicional ou outro *smartcontract*. Essa necessidade pode comprometer parcialmente os benefícios da descentralização, exigindo um equilíbrio entre imutabilidade e acessibilidade.

Além disso, identificou-se um desafio operacional relevante relacionado à sincronização do *nonce*² dos blocos, especialmente em cenários de escalabilidade horizontal da aplicação. A necessidade de controle manual deste parâmetro pode gerar gargalos e impactar a confiabilidade da solução. Para mitigar esse entrave, propõe-se a utilização de uma base de dados em memória - como Redis - para gerenciamento centralizado e em tempo real dos *nonces* utilizados.

Outro ponto crítico identificado foi a ausência de um mecanismo robusto de tratamento de erros, sobretudo em situações em que o pool de transações da blockchain atinge sua capacidade máxima. Nesses casos, novas transações são rejeitadas e, dependendo do tempo de resposta, podem ocasionar timeouts. Para mitigar esse risco, sugere-se a implementação de uma fila assíncrona de novas tentativas (*retry queue*), a fim de reenviar automaticamente as transações malsucedidas após determinado intervalo, aumentando a resiliência e a confiabilidade da aplicação.

Portanto, percebe-se que há vantagens relevantes na aplicação de *blockchain* no processo licitatório, devendo-se sempre trazer à tona a ponderação realizada pelo TCU (2020) quanto ao alerta quanto a aplicação de tal tecnologia em processos públicos e suas vantagens do serviço descentralizado. Sendo assim, percebe-se que a adoção de uma solução de blockchain deve ser criteriosa, tendo em vista seus possíveis impactos no negócio e possível aumento de necessidades técnicas.

CONCLUSÃO

Este trabalho buscou investigar como a aplicação da tecnologia blockchain, em sinergia com o protocolo IPFS, pode aprimorar os processos de licitação pública, com foco na modalidade concorrência. A partir de uma abordagem metodológica que combinou mapeamento sistemático da literatura, análise técnico-jurídica-operacional

² Nonce (number only used once) é um valor numérico incremental utilizado nas transações e blocos da blockchain para garantir a unicidade e a ordem correta de inclusão das transações. No contexto do Ethereum, por exemplo, cada conta possui um *nonce* que é incrementado a cada transação enviada, evitando colisões e ataques de repetição (*replay attacks*).

e o desenvolvimento de um protótipo funcional, foi possível demonstrar a viabilidade prática da solução proposta.

Os resultados evidenciam que a utilização de uma blockchain permissionada e privada, aliada ao armazenamento distribuído via IPFS, contribui significativamente para o fortalecimento dos princípios da integridade, transparência e auditabilidade dos processos licitatórios. As propriedades da imutabilidade dos registros, rastreabilidade das ações e descentralização dos dados se mostraram eficazes para mitigar fragilidades históricas da gestão pública, como a perda documental, a opacidade nas etapas da licitação e a vulnerabilidade a fraudes.

Além das contribuições técnicas e estruturais, o trabalho destacou os ganhos em confiabilidade institucional, potencial de redução de custos operacionais e simplificação dos mecanismos de controle e fiscalização. Em contrapartida, foram também reconhecidos desafios relevantes, como a necessidade de maior planejamento arquitetural, gestão de infraestrutura híbrida (centralizada e distribuída) e adaptação normativa à realidade dos contratos inteligentes.

O trabalho, portanto, aponta que a adoção da tecnologia blockchain em licitações públicas é viável e promissora, desde que orientada por critérios técnicos e estratégicos bem definidos, conforme alerta o TCU. O protótipo desenvolvido representa um passo concreto nessa direção e poderá servir de base para futuras iniciativas de inovação no setor público.

Como sugestões para trabalhos futuros, verifica-se a possibilidade de expandir o protótipo para abranger outras modalidades de licitação previstas na Lei 14.133/2021, bem como realizar testes em ambiente real em parceria com órgãos públicos, levantar aspectos de usabilidade junto a gestores e licitantes e investigar estratégias para integração normativa de contratos autoexecutáveis no ordenamento jurídico brasileiro.

REFERÊNCIAS

AVENI, A. Blockchain e Decentralized Autonomous Organization (DAO) nos sistemas de saúde pós-pandemia. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, 06 Dezembro 2022. Disponível em: <<https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/455>>. Acesso em: 04 de fev. 2025.

BOTELHO, J. M.; CRUZ, V. A. G. D. **Metodologia Científica**. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2013.

BLOCKCHAIN COMO MECANISMO PARA ASSEGURAR A INTEGRIDADE EM LICITAÇÕES PÚBLICAS NA MODALIDADE CONCORRÊNCIA. Erick Azevedo SOUSA; Alex COELHO. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE MAIO - Ed. 62. VOL. 02. Págs. 76-97. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

BUTERIN, V. **Ethereum white paper: A next-generation smart contract and decentralized application platform**. [S.l.]. 2014.

CARDOSO, H. R.; CERQUEIRA, R. S. D.; ANDRADE, A. B. C. D. **A Aplicabilidade Da Tecnologia Blockchain Às Licitações Públicas**. Revista do CEJUR/TJSC: Prestação Jurisdicional, 04 Março 2021. 24. Disponível em: <<https://revistadocejur.tjsc.jus.br/cejur/article/view/368>>. Acesso em: 12 de jan 2025.

CESAR, L. P. D. M. et al. **Licitação e contratação em BIM: parâmetros legais**. [S.l.]: Simetra, 2022.

FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. R. D. C. **Pesquisa Aplicada: Conceitos E Abordagens**. Anuário de Pesquisa GVPesquisa, 2017.

GIAMBERARDINO, G. G. Uso da tecnologia blockchain nas contratações públicas sustentáveis de obras rodoviárias. **Revista de Administração Pública**, 28 Junho 2024. Disponível em: <<https://periodicos.fgv.br/rap/article/view/91295>>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MAIA, I. D. C.; OLIVEIRA, I. K. D.; ROCHA, J. L. R. D. **Utilização de blockchain para melhoria da segurança e transparência em processos administrativos de licitações públicas**. Repositório Institucional do Conhecimento do Centro Paula Souza, 6 Dezembro 2024. Disponível em: <<https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/27624>>. Acesso em: 04 de jan. 2025.

MARRARA, T. **Manual de direito administrativo: atos, processos, licitações e contratos**. [S.l.]: Foco, 2023.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. [S.l.]. 2008.

NÓBREGA, M.; TORRES, R. C. L. D. A nova lei de licitações, credenciamento e e-marketplace: o turning point da inovação nas compras públicas. **Revista de Controle Externo**, 2020. Disponível em: <<https://www.licitacaocontrato.com.br>>. Acesso em: 05 jan. 2025.

NODEHI, T.; GRILO, A. Z. A. A.; RIZVANOVIC, B. **EBDF: The enterprise blockchain design framework and its application to an e-Procurement ecosystem**

REIS, L. E.; ANDRADE, L. G. D.; ARRAES, R. **Construindo o Estado Democrático de Direito: Governo Probo, Eleições Justas**. [S.l.]: Appris, 2022.

SANTANA, A. G.; TEIXEIRA, C. N.; AMIN, A. H. C. A Viabilidade do Uso das Tecnologias Blockchain e Smart Contracts na Licitação e Contratos Administrativos a Partir da Lei 14.133/2021. **Revista de Direito Brasileira**, 2 Abril 2024. Disponível em: <<https://www.indexlaw.org/index.php/rdb/article/view/7491>>. Acesso em: 06 de mar. 2025.

SILKA, E. H. D. F. **A cidade na rede: reflexões críticas sobre o uso da blockchain como ferramenta tecnopolítica nos centros urbanos**. Repositório Institucional da UFSC, 25 mar. 2022. 70. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/233373>>. Acesso em: 12 de fev. 2025.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de Software. [S.l.]: Pearson Universidades, 2019.

TCU. Levantamento da tecnologia blockchain. **Revista TCU**, p. 27, 2020. Acesso em: 22 de mar. 2025.

TRICCO, A. C. E. A. **PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation**. Annals of Internal Medicine, 2018.

VANSTONE, S.; MENEZES, A.; OORSCHOT, P. V. **Handbook of Applied Cryptography**. [S.l.]: [s.n.], 1996.

VAZ, T. P. D. L. Os Incentivos em Contratos Públicos. **Revista de Economia Governamental**, 2020. Acesso em: 05 de fev. 2025.