



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

IAGO MAGALHÃES FERNANDES

**UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DA SECRETARIA DO
PATRIMÔNIO DA UNIÃO AO BLOCKCHAIN PARA INCENTIVO À
TRANSPARÊNCIA DE PROCESSOS: UMA ANÁLISE DE USABILIDADE E
EXPERIÊNCIA DE DESENVOLVEDORES**

**FORTALEZA – CEARÁ
2025**

RESUMO

Os Termos de Execução Descentralizada (TED), celebrados pela Secretaria do Patrimônio da União (SPU), representam acordos para transferência de recursos financeiros e execução de atividades entre órgãos e entidades públicas. Apesar da relevância destes instrumentos, atualmente existem desafios relacionados à transparência, acesso claro às informações e rastreabilidade dos processos envolvidos. Diante desse cenário, a tecnologia *blockchain* surge como uma solução viável, oferecendo um mecanismo robusto e confiável para registro imutável de informações. Neste contexto, esta pesquisa apresenta os resultados de um projeto que propõe integrar os sistemas da SPU ao *blockchain* por meio da Application Programming Interface (API) DocStone. A referida API foi adaptada especificamente para o contexto de processos públicos, permitindo o registro transparente e seguro dos processos TED e de seus documentos associados. Como parte central deste estudo, realizou-se uma validação prática com testes de usabilidade da API DocStone junto a desenvolvedores experientes em Java e usuários da plataforma Sistema Eletrônico de Informações (SEI), utilizando uma abordagem baseada na observação direta com aplicação do método Think-Aloud, seguida de um questionário estruturado para avaliação da experiência dos desenvolvedores. Os resultados deste trabalho demonstraram que a API proposta apresentou resultados de usabilidade satisfatórios e potencial significativo para adoção em ambientes governamentais, além de gerar insights valiosos para melhorias imediatas na solução.

Palavras-chave: Requisitos; Blockchain, Transparência Pública, Processos TED, API, Contratos Inteligentes.

ABSTRACT

The Decentralized Execution Terms (TED), established by the Secretariat for Coordination and Governance of Federal Assets (SPU), represent agreements for the transfer of financial resources and execution of activities between public agencies and entities. Despite the importance of these instruments, there are currently challenges related to transparency, clear access to information, and traceability of the processes involved. In this scenario, blockchain technology emerges as a viable solution, offering a robust and reliable mechanism for the immutable recording of information. Within this context, this research presents the results of a project that proposes integrating SPU systems with blockchain through the DocStone API. This API was specifically adapted for the context of public processes, enabling transparent and secure recording of TED processes and their associated documents. As a central part of this study, a practical validation was carried out through usability testing of the DocStone API with experienced Java developers and users of the SEI platform. The evaluation employed a direct observation approach using the Think-Aloud method, followed by a structured questionnaire to assess the developers' experience. The results of this study showed that the proposed API demonstrated satisfactory usability and significant potential for adoption in governmental environments, in addition to providing valuable insights for immediate improvements to the solution.

Keywords: Requirements; Blockchain; Public Transparency; TED Processes; API; Smart Contracts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo arquitetural proposto.	20
Figura 2 – Fluxo de criação de processos de TED integrado ao uso de <i>blockchain</i>.	22
Figura 3 – Prototipação visual da Página de Transparência.	22
Figura 4 – Análise usabilidade	27
Figura 5 – Análise de percepção de valor da solução	28
Figura 6 – Análise de percepção de valor da solução	28
Figura 7 – Análise de percepção de valor da solução	29
Figura 8 – Análise <i>Developer Experience</i>	30
Figura 9 – Análise <i>Developer Experience</i>	30
Figura 10 – Análise <i>Developer Experience</i>	31
Figura 11 – Análise <i>Developer Experience</i>	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Justificativa	8
1.2	Objetivos	8
1.2.1	Objetivo Geral	8
1.2.2	Objetivos Específicos	9
1.3	Visão Geral do Documento	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1	Blockchain	10
2.2	Contratos inteligentes	11
2.3	InterPlanetary File System (IPFS)	12
3	TRABALHOS RELACIONADOS	14
4	METODOLOGIA	16
4.1	Teste de usabilidade com desenvolvedores	16
4.2	Teste de usabilidade com usuários externos	17
5	ARQUITETURA DA SOLUÇÃO	20
5.1	Workflow mapeado a ser operado via <i>blockchain</i>	21
5.2	Prototipação visual	22
5.3	Smart contract Focus	23
6	RESULTADOS	26
6.1	Análise da Usabilidade	26
6.2	Análise de percepção de valor	27
6.3	Análise <i>Developer Experience</i>	29
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	33
	REFERÊNCIAS	34
	APÊNDICE A – CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO DE DESENVOL-	
	VEDORES	35
	APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DESENVOLVEDORES PAR-	
	TICIPANTES	36
	APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLA-	
	RECIDO	37

APÊNDICE D – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPAN-	
TES	38
APÊNDICE E – AVALIAÇÃO DEVELOPER EXPERIENCE	39
APÊNDICE F – CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO DE USUÁRIOS	
EXTERNOS	40
APÊNDICE G – CARACTERIZAÇÃO USUÁRIOS EXTERNOS PAR-	
TICIPANTES	41
APÊNDICE H – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPAN-	
TES	42
APÊNDICE I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLA-	
RECIDO	43
APÊNDICE J – AVALIAÇÃO USABILIDADE	44

1 INTRODUÇÃO

A Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União (SPU), atualmente integrada ao Ministério da Economia (ME), desempenha uma função fundamental na criação e coordenação de políticas relacionadas ao patrimônio territorial brasileiro, incluindo ações de regularização fundiária, transferência de propriedade de imóveis e otimização do uso de imóveis do governo federal, além da implementação de políticas de desestatização e desinvestimento, disponibilizando imóveis públicos federais subutilizados para o mercado imobiliário (CGDAG, 2022). Dentre as atividades atribuídas à SPU, tem-se a celebração de Termo de Execução Descentralizada (TED), um instrumento que possibilita a descentralização de créditos entre órgãos e entidades que integram os Orçamentos Fiscal e da Seguridade Social da União (BRASIL, 2020). Em outras palavras, os TED são contratações entre a SPU e outros órgãos governamentais, como universidades (em sua maioria) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), para desenvolvimento de programas e projetos de interesse da União. Por meio da SPU (Unidade Descentralizadora), a União entra com a gestão, o recurso e a fiscalização, enquanto a outra parte (Unidade Descentralizada) entra com a execução das atividades.

A gestão e a fiscalização do TED envolve diversas etapas, documentos e o cumprimento rigoroso de prazos no decorrer de sua elaboração, assinatura e acompanhamento. As dificuldades ao acesso claro e transparente dos dados contidos no TED, que geram obrigações legais e contratuais entre as partes, e na rastreabilidade de relevantes informações relacionadas ao instrumento, apontam para a urgente necessidade de soluções que tornem inteligente e dinamizem seu gerenciamento e *follow up*. Diante dessas particularidades, o uso do *blockchain* se demonstra proeminente devido à sua capacidade de registrar eventos digitais de forma transparente, segura e resiliente, com registro imutável de dados. Tal tecnologia atua como um livro-razão distribuído, onde o registro, verificação, armazenamento, manutenção e transmissão de dados são baseados numa arquitetura distribuída protegida por criptografia (BECK *et al.*, 2017).

Nesse contexto, este trabalho objetiva integrar sistemas da SPU ao *blockchain* através da adaptação de uma API, denominada DocStone, para o gerenciamento de documentos (registro até a validação) tendo como base diferentes *blockchains* para integração à diversas plataformas de clientes, permitindo a criação de modelos personalizados de documentos de forma simplificada (SOARES *et al.*, 2022). Dado o grande volume de processos na SPU, observou-se a oportunidade de implementar o conceito de “processos genéricos”, o qual permite que um sistema terceiro

realize o registro de todas as etapas do processo e seus respectivos documentos em *blockchain*, independente de seu fluxo específico. Tal solução permite que o sistema de gerenciamento de TEDs integre-se ao *blockchain* de forma simplificada, ao passo que possibilita o registro de todo o processo imutavelmente, assegurando a rastreabilidade das ações e garantia da transparência dos procedimentos realizados e documentos envolvidos no TED. Além disso, viabiliza-se a geração de registros públicos seguros e auditáveis, fortalecendo, inclusive, a Lei de Acesso à Informação. Em termos técnicos, implementou-se um novo Contrato Inteligente (CI) para gerenciamento de processos, as devidas adaptações na API do DocStone para integração com o novo CI e o uso do InterPlanetary File System (IPFS) como sistema de arquivos para armazenamento das mídias.

Em termos de contribuições, tem-se: (i) o fortalecimento da transparência do TED através de uma proposta e evolução da arquitetura do DocStone para a gestão de processos (não limitando-se apenas à gestão de documentos independentes) do setor público permitindo integrações de seus sistemas ao uso do *blockchain* de forma simplificada; (ii) a aderência prática da proposta ao contexto real de processos TED, com potencial adaptação para outros tipos de processos já executados ou não pelo governo eletrônico; e (iii) um protótipo funcional simulando uma página de transparência integrada ao sistema SEI.

1.1 Justificativa

Os Termos de Execução Descentralizada (TEDs), realizados pela Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União (SPU), são instrumentos essenciais para o acompanhamento da execução financeira e operacional das atividades públicas. Se bem gerenciados, estes processos permitem uma maior transparência, eficiência e auditabilidade, garantindo uma administração pública mais confiável. No entanto, se mal conduzidos ou documentados de forma inadequada, podem levar à falta de transparência, perda de confiança por parte da sociedade e dificuldades administrativas que comprometem diretamente a qualidade dos serviços públicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a integração dos sistemas da Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União (SPU) ao *blockchain* utilizando a API DocStone, com foco na transparência

e rastreabilidade dos Termos de Execução Descentralizada (TEDs), através da análise empírica de sua usabilidade e experiência do desenvolvedor.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Investigar práticas e desafios na utilização do blockchain para garantir transparência e rastreabilidade nos processos públicos da SPU;
- b) Avaliar a usabilidade e clareza da documentação da API DocStone por meio de experimentos práticos com desenvolvedores Java, aplicando técnicas qualitativas como o método Think-Aloud;
- c) Avaliar a percepção de valor da solução proposta pelos usuários do sistema SEI por meio da interação com o protótipo visual integrado ao blockchain;

1.3 Visão Geral do Documento

Este trabalho está dividido da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para compreender esta monografia, tratando de *blockchain*, *smart contracts* e Interplanetary File System(IPFS). Os trabalhos relacionados são discutidos no Capítulo 3. O Capítulo 4 apresenta a metodologia da pesquisa. O Capítulo 5 apresenta a arquitetura da solução, evidenciando as camadas de serviço e a prototipação visual. Já no sexto capítulo, encontram-se os resultados da proposta. Por fim, no capítulo 7 faz-se a conclusão com as considerações finais, limitações e apresentam-se os possíveis trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As seções seguintes apresentam os conhecimentos teóricos e as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Blockchain

A tecnologia Blockchain tem se destacado como uma inovação disruptiva no campo da computação, oferecendo um modelo descentralizado para o registro e verificação de transações digitais. Concebida inicialmente para suportar a criptomoeda Bitcoin, conforme descrito por (NAKAMOTO, 2008), a Blockchain é essencialmente um livro-razão distribuído que garante a transparência e a segurança dos dados sem a necessidade de intermediários. Cada bloco na cadeia contém um conjunto de transações validadas e é ligado ao bloco anterior por meio de funções criptográficas, o que assegura a integridade e a imutabilidade das informações armazenadas.

Um dos aspectos fundamentais da Blockchain é seu mecanismo de consenso, que permite que todos os participantes da rede concordem sobre o estado atual do livro-razão de forma segura e confiável. Protocolos como *Proof of Work* (PoW) e *Proof of Stake* (PoS) são amplamente utilizados para validar novas transações e adicionar blocos à cadeia, garantindo a resistência a ataques e a manipulação de dados (BUTERIN *et al.*, 2014). Além disso, a descentralização inerente à Blockchain elimina a dependência de uma autoridade central, promovendo a confiança entre os participantes através de um sistema distribuído de verificação e validação.

A segurança da Blockchain é reforçada pela utilização de técnicas criptográficas avançadas, que protegem as transações e impedem alterações não autorizadas. A imutabilidade dos registros é uma característica crucial, pois uma vez que um bloco é adicionado à cadeia, suas informações não podem ser modificadas sem alterar todos os blocos subsequentes, o que é computacionalmente inviável em redes bem estruturadas (NARAYANAN, 2016). Essa propriedade torna a Blockchain particularmente adequada para aplicações que exigem alta integridade dos dados, como contratos inteligentes e sistemas de gerenciamento de identidade.

Apesar de suas vantagens, a tecnologia Blockchain enfrenta desafios significativos, incluindo questões de escalabilidade e consumo energético, especialmente em sistemas que utilizam PoW. Pesquisas estão em andamento para desenvolver protocolos de consenso mais eficientes e sustentáveis, como o PoS, que visam reduzir o impacto ambiental e aumentar a capacidade de processamento de transações (VRIES, 2018). Além disso, a interoperabilidade entre diferentes redes Blockchain e a adoção de padrões regulatórios são áreas que demandam

atenção para facilitar a integração e a adoção em larga escala da tecnologia.

2.2 Contratos inteligentes

Os contratos inteligentes (smart contracts) constituem uma inovação significativa no âmbito da tecnologia Blockchain, proporcionando a automação e a execução autônoma de acordos digitais sem a necessidade de intermediários. Concebidos por Nick Szabo em 1997, os contratos inteligentes são programas autoexecutáveis que operam quando condições predeterminadas são atendidas, garantindo a execução fiel dos termos acordados (SZABO, 1996). Essa característica torna-os particularmente valiosos para aplicações que requerem alta confiabilidade e transparência, como transações financeiras, gerenciamento de identidade e cadeias de suprimentos.

A implementação dos contratos inteligentes é amplamente facilitada pela plataforma Ethereum, proposta por Vitalik Buterin em 2014. Ethereum estende as funcionalidades da Blockchain ao permitir a criação e execução de contratos inteligentes por meio de sua linguagem de programação específica, o Solidity (BUTERIN *et al.*, 2014). Essa capacidade de programar contratos complexos diretamente na Blockchain promove uma vasta gama de aplicações descentralizadas (dApps), ampliando o escopo de utilização da tecnologia Blockchain além das criptomoedas (NARAYANAN, 2016).

Do ponto de vista técnico, os contratos inteligentes operam em um ambiente de execução descentralizado, onde o código do contrato é distribuído e replicado em todos os nodos da rede Blockchain. Isso assegura que a execução do contrato seja transparente, imutável e resistente a manipulações, uma vez que qualquer alteração no código requer consenso da rede (NAKAMOTO, 2008). Além disso, a utilização de contratos inteligentes reduz significativamente os custos e o tempo associados à intermediação humana, aumentando a eficiência e a segurança das transações.

Apesar das vantagens, os contratos inteligentes enfrentam desafios consideráveis que impactam sua adoção em larga escala. Questões de escalabilidade, relacionadas à capacidade de processar um grande número de contratos simultaneamente, e preocupações com a segurança do código, uma vez que vulnerabilidades podem ser exploradas para comprometer a integridade dos contratos, são obstáculos significativos (NARAYANAN, 2016). Além disso, a falta de regulamentação clara e a complexidade na criação de contratos inteligentes robustos e à prova de falhas representam barreiras adicionais para sua implementação efetiva.

2.3 InterPlanetary File System (IPFS)

O InterPlanetary File System (IPFS) representa uma evolução significativa na forma como os dados são armazenados e compartilhados na internet, propondo uma arquitetura descentralizada que supera as limitações dos sistemas tradicionais baseados em servidores centralizados. Desenvolvido por Juan Benet em 2014, o IPFS é um protocolo de armazenamento e compartilhamento de arquivos que utiliza endereçamento de conteúdo e uma rede *peer-to-peer* (P2P) para garantir a eficiência, segurança e resistência à censura dos dados (BENET, 2014).

A essência do IPFS reside no seu mecanismo de endereçamento de conteúdo, onde cada arquivo e todos os blocos dentro dele são identificados de maneira única por meio de uma hash criptográfica. Essa abordagem assegura que os dados sejam imutáveis e facilmente verificáveis, uma vez que qualquer alteração no conteúdo resultará em um novo endereço de hash, garantindo a integridade e a autenticidade das informações armazenadas (BENET, 2014). Além disso, o IPFS utiliza uma estrutura de dados chamada Merkle *Directed Acyclic Graph* (DAG), que permite a vinculação eficiente de blocos de dados e facilita a deduplicação e o versionamento dos arquivos.

A arquitetura descentralizada do IPFS elimina a dependência de servidores centralizados, distribuindo o armazenamento e o fornecimento de conteúdo entre os nós da rede. Isso não apenas melhora a resiliência contra falhas e ataques de *Denial of Service* (DoS), mas também otimiza a distribuição de dados, reduzindo a latência e aumentando a velocidade de acesso através do uso de caching e distribuição geográfica dos nós (BENET, 2014). A natureza P2P do IPFS promove uma maior eficiência no uso de largura de banda e recursos de rede, tornando-o particularmente adequado para a disseminação de grandes volumes de dados e para aplicações que requerem alta disponibilidade e escalabilidade.

Além das vantagens técnicas, o IPFS oferece uma base robusta para a construção de aplicações descentralizadas (dApps) e para a integração com outras tecnologias emergentes, como a Blockchain. A combinação do IPFS com contratos inteligentes permite a criação de sistemas mais transparentes e confiáveis, onde os dados armazenados no IPFS podem ser verificados e utilizados de maneira segura por meio de transações na Blockchain (NARAYANAN, 2016). Essa sinergia potencializa a descentralização e a automação de processos, abrindo novas possibilidades para a inovação tecnológica e para a criação de infraestruturas digitais mais justas e resilientes.

Apesar das vantagens promissoras, o IPFS enfrenta desafios que precisam ser su-

perados para sua adoção em larga escala. A escalabilidade da rede, a gestão eficiente do armazenamento distribuído e a garantia de privacidade dos dados são questões que demandam soluções contínuas e aprimoramentos tecnológicos (BENET, 2014). Além disso, a interoperabilidade com sistemas existentes e a criação de padrões globais são essenciais para facilitar a integração do IPFS em diferentes contextos e aplicações.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são discutidos trabalhos científicos relevantes para o desenvolvimento deste estudo, distribuídos em três tópicos específicos, detalhados individualmente, sem referências cruzadas. Esses trabalhos embasam teoricamente o uso da tecnologia blockchain no contexto governamental, sua aplicação prática na administração pública e a validação rigorosa de APIs junto a desenvolvedores.

Olnes (ØLNES; UBACHT; JANSSEN, 2017) discute detalhadamente os benefícios e desafios associados ao uso da tecnologia blockchain no setor público. Neste estudo, os autores analisaram casos reais de implementação do blockchain em governos, destacando particularmente os benefícios relativos ao aumento da transparência, eficiência operacional e redução de fraudes devido às propriedades intrínsecas dessa tecnologia, como imutabilidade e rastreabilidade dos registros.

O artigo enfatiza também as implicações práticas, considerando os desafios de implementação enfrentados pelas organizações governamentais, que envolvem questões técnicas como escalabilidade, interoperabilidade com sistemas legados, bem como desafios organizacionais, incluindo resistência cultural, necessidade de capacitação dos agentes públicos e adequação às regulamentações existentes.

Além disso, o estudo fornece uma visão ampla sobre os fatores que determinam o sucesso na adoção de blockchain pelo governo, ressaltando a importância de se avaliar cuidadosamente os contextos em que essa tecnologia é mais benéfica. Tal visão contribui significativamente para o entendimento dos potenciais impactos do blockchain no contexto específico deste estudo, onde o foco é a transparência e segurança nos processos dos Termos de Execução Descentralizada (TEDs) da Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União (SPU).

Silva (SILVA; MARQUES, 2021) apresenta uma análise abrangente das aplicações práticas da tecnologia blockchain em diferentes contextos governamentais ao redor do mundo. A pesquisa publicada na revista científica AtoZ mapeou uma ampla gama de artigos acadêmicos e casos práticos que demonstram como o blockchain tem sido aplicado para solucionar problemas específicos da gestão pública.

Os autores identificam áreas-chave beneficiadas pela adoção do blockchain, tais como registros imobiliários, autenticação digital de cidadãos, gestão da cadeia de suprimentos governamentais e processos financeiros, especialmente em contextos que exigem maior transpa-

rênciam e rastreabilidade. A revisão também apresenta um panorama de como diferentes países têm adotado essa tecnologia para melhorar a governança pública e a eficiência administrativa.

A partir dessa análise detalhada, os autores destacam que a aplicação do blockchain no setor público é acompanhada frequentemente por uma redução significativa na burocracia, aumento de confiança da sociedade civil e melhorias substanciais nos processos de auditoria e compliance governamental, aspectos que fortalecem o entendimento sobre o potencial da tecnologia blockchain para o contexto brasileiro.

A tese de Dênis Alves Rodrigues (MORON; BOURGUIGNON, 2023) analisa as redes governamentais de blockchain em nível federal no Brasil, com o objetivo de identificar os valores públicos gerados por sua adoção. Utilizando a teoria do Valor Público em Governo Eletrônico, o estudo realiza uma revisão sistemática de literatura e um estudo de casos múltiplos das três redes brasileiras de blockchain: RBB, RNDS e PIER. Os resultados indicam que as redes implantadas foram capazes de gerar valor público em diversas dimensões, contribuindo para a eficiência e transparência na administração pública.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentado os experimentos adotados para dois grupos distintos de participantes. O primeiro, desenvolvedores Java, avaliaram de maneira técnica a API do Docstone através do framework *Developer Experience Framework* (GREILER; STOREY; NODA, 2022). O segundo grupo avaliou a usabilidade do protótipo visual Figura 3 com base na abordagem descrita em (WINCKLER; PIMENTA, 2002).

4.1 Teste de usabilidade com desenvolvedores

A seleção dos participantes se deu através dos seguintes critérios: (i) possuir ao menos um ano em experiência de mercado com a programação na linguagem Java; (ii) maior de 18 anos. O recrutamento dos convidados se deu em duas fases. Inicialmente, identificou-se os possíveis candidatos via *snowball sampling* através da rede de contato dos autores, e, em seguida, enviou-se os convites individualmente via e-mail. Neste convite existia uma breve descrição do projeto, seus riscos e benefícios, as etapas da coleta de dados e tempo de duração da coleta, conforme disponível no Apêndice A. O experimento ocorreu entre os dias 10/03/2025 a 03/04/2025. Ao total, dos 20 convites enviados, 15 convidados aceitaram participar do estudo. No Apêndice B consta, de forma mais detalhada, a caracterização de cada participante (os nomes foram omitidos para preservar a confidencialidade). Para que os testes fossem realizados, estabeleceu-se um roteiro baseado em 6 etapas.

1. Recepção e explicação do procedimento.
2. Preenchimento do TCLE.
3. Preenchimento do questionário de caracterização do candidato.
4. Exploração geral da API e documentação utilizando o método *Think-Aloud*.
5. Realizar as tarefas solicitadas.
 - a) Fazer o deploy do *smart contract* através do endpoint *POST/contracts*.
 - b) Inserir dois documentos em um processo na blockchain e IPFS através do endpoint *POST/documents*.
 - c) Buscar por um dos documentos inclusos na blockchain através do endpoint *POST/documentRead*.
 - d) Buscar os dois documentos inclusos na blockchain associados a um processo através do endpoint *POST/documentsRead*.
6. Resposta sobre questões abertas relacionadas a percepção e valor da solução e demais feedbacks.

Destaca-se que, para prover maior realidade à realização das tarefas, o Docstone também já contava com modelos previamente definidos. O Apêndice C mostra o TCLE utilizado no procedimento em questão, já no Apêndice D está o questionário de caracterização do candidato, por fim, as questões relacionadas a percepção de valor da solução e demais feedbacks estão disponíveis no Apêndice E. O experimento foi supervisionado de forma online através da ferramenta de videochamada Google Meet. Mesmo remotamente, verificou-se a inocorrência de prejuízos demasiados, haja vista que foi possível observar tanto as reações físicas do usuário pela webcam, quanto a interação com a solução via espelhamento da tela. Ademais, destaca-se que cada teste foi feito de forma individual e que a intervenção do avaliador somente se deu em momentos de solicitação, com o fito de tornar a experiência autêntica. Adotou-se, também, a realização de um experimento piloto com um voluntário (programador Java com 2 anos de experiência) para fins de validação e aprimoramento do roteiro, porém seu resultado foi descartado. A Tabela 1 traz uma visão geral sobre o tempo e data de realização dos experimentos realizados. Conforme pode-se perceber, os experimentos duraram entre 30 e 45 minutos, com média de 35 minutos.

Tabela 1 – Tempo do experimento por participante

Identificação do Participante	Tempo (min)	Data da realização
P1	40	10/03/2025
P2	41	12/03/2025
P3	38	13/03/2025
P4	47	14/03/2025
P5	46	14/03/2025
P6	35	14/03/2025
P7	45	16/03/2025
P8	47	17/03/2025
P9	38	20/03/2025
P10	41	22/03/2025
P11	42	26/03/2025
P12	48	29/03/2025
P13	42	30/03/2025
P14	41	01/04/2025
P15	42	03/04/2025

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Teste de usabilidade com usuários externos

A seleção dos participantes se deu através dos seguintes critérios: (i) já ter utilizado a plataforma SEI; (ii) ser maior de 18 anos. O recrutamento dos convidados se deu em duas fases.

Inicialmente, identificou-se os possíveis candidatos via *snowball sampling* através da rede de contato do autor, e, em seguida, enviou-se os convites individualmente via e-mail. Neste convite existia uma breve descrição do projeto, seus riscos e benefícios, as etapas da coleta de dados e tempo de duração da coleta, conforme disponível no Apêndice F. O experimento ocorreu entre os dias 05/03/2025 a 21/03/2025. Ao total, dos 12 convites enviados, 10 convidados aceitaram participar do estudo. No Apêndice G consta, de forma mais detalhada, a caracterização de cada participante (os nomes foram omitidos para preservar a confidencialidade). Para que os testes fossem realizados, estabeleceu-se um roteiro baseado em seis etapas.

1. Recepção e explicação do procedimento.
2. Preenchimento do TCLE.
3. Preenchimento do questionário de caracterização do candidato.
4. Exploração geral da página utilizando o método *Think-Aloud*.
5. Realizar as tarefas solicitadas.
 - a) Buscar por todos os documentos de um processo.
 - b) Buscar por documento de um processo filtrando pelo nome do documento.
 - c) Buscar por documento de um processo filtrando por data de inclusão.
6. Resposta sobre questões abertas relacionadas a percepção e valor da solução e demais feedbacks

Destaca-se que, para prover maior realidade à realização das tarefas, o Docstone também já contava com documentos e processos previamente definidos para consulta. O Apêndice C mostra o TCLE utilizado no procedimento em questão, já no Apêndice D está o questionário de caracterização do candidato, por fim, as questões relacionadas a percepção de valor da solução e demais feedbacks estão disponíveis no Apêndice J. O experimento foi supervisionado de forma online através da ferramenta de videochamada Google Meet. Mesmo remotamente, verificou-se a inocorrência de prejuízos demasiados, haja vista que foi possível observar tanto as reações físicas do usuário pela webcam, quanto a interação com a solução via espelhamento da tela. Ademais, destaca-se que cada teste foi feito de forma individual e que a intervenção do avaliador somente se deu em momentos de solicitação, com o fito de tornar a experiência autêntica. Adotou-se, também, a realização de um experimento piloto com um voluntário (usuário da plataforma SEI de 42 anos) para fins de validação e aprimoramento do roteiro, porém seu resultado foi descartado. A Tabela 2 traz uma visão geral sobre o tempo e data de realização dos experimentos realizados. Conforme pode-se perceber, os experimentos duraram entre 10 e 19 minutos, com média de 14 minutos.

Tabela 2 – Tempo do experimento por participante

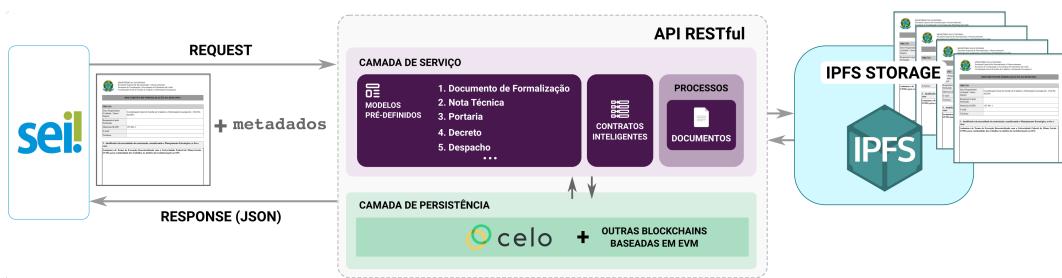
Identificação do Participante	Tempo (min)	Data da realização
P1	10	05/03/2025
P2	11	06/03/2025
P3	16	07/03/2025
P4	11	10/03/2025
P5	18	11/03/2025
P6	10	14/03/2025
P7	11	16/03/2025
P8	17	18/03/2025
P9	16	20/03/2025
P10	19	21/03/2025

Fonte: Elaborado pelo autor

5 ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

Em relação à arquitetura proposta, implementações de adaptações ao DocStone foram realizadas para o seu uso como uma ferramenta de integração dos processos TEDs do SPU atendendo ao contexto de processos genéricos no setor público, o que não tinha sido contemplado em sua versão inicial. Assim, as adaptações nas duas principais camadas serão destacadas: a (i) Camada de Serviço e a (ii) Camada de Persistência, as quais serão detalhadas a seguir.

Figura 1 – Modelo arquitetural proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Camada de Serviço, tem-se a criação de ativos referente ao modelos de documentos que, nesse caso, são pré-definidos. Por exemplo, o modelo do Documento de Formalização da Demanda e seus respectivos atributos (assunto, descrição, data, etc.) foram previamente registrados na API, assim como o restante dos outros modelos (Nota Técnica, Portaria, Decreto, etc). Ressalta-se que o cadastro prévio de modelos não impede a inserção de novos modelos a qualquer momento. Por sua vez, o CI refere-se ao código implantado responsável por executar as principais funções em blockchain. Nesse caso, houve a implementação de um novo CI em relação à primeira versão do DocStone, visto que esse realizava o armazenamento de “Documentos” sem associá-los a um processo específico. No presente estudo, buscou-se adaptar o CI para o gerenciamento de “Processos” e associá-los, cada um, a um conjunto de documentos. Ou seja, ao iniciar um processo TED, este terá seu registro em blockchain, assim como todos os documentos associados a ele. Dessa forma, possibilita-se listar todos os documentos de um processo de forma cronológica ao buscar por um processo específico.

Na Camada de Persistência, definiu-se a Celo como a *blockchain*, baseada em Ethereum Virtual Machine (EVM), a ser utilizada no trabalho, visto que o uso da mesma é propício para o contexto público. Isto porque a Celo é um ecossistema de *blockchain* que tem o objetivo de promover a inclusão financeira com visão de “uma nova economia digital próspera para todos” através do conceito *mobile-first*, ou seja, tornando a Web3 potencialmente acessível,

com custos leves e transações rápidas¹. Ressalta-se que tal escolha não impossibilita o uso de outras *blockchains* baseadas em EVM. Outra modificação considerável é o uso de IPFS para o armazenamento das mídias dos arquivos armazenados (.pdf, .png, .jpeg, etc.). Foi identificada a necessidade do uso de IPFS visto que permite o armazenamento descentralizado e consulta facilitada de informações nesse contexto do setor público. O IPFS é um sistema distribuído para acesso e armazenamento de arquivos, sites, aplicações e dados em geral potencializado por sua comunidade (BENET, 2014). Na prática, o IPFS solicita a diversos computadores da rede compartilharem os dados de uma determinada página, tornando qualquer usuário um provedor de dados.

5.1 Workflow mapeado a ser operado via *blockchain*

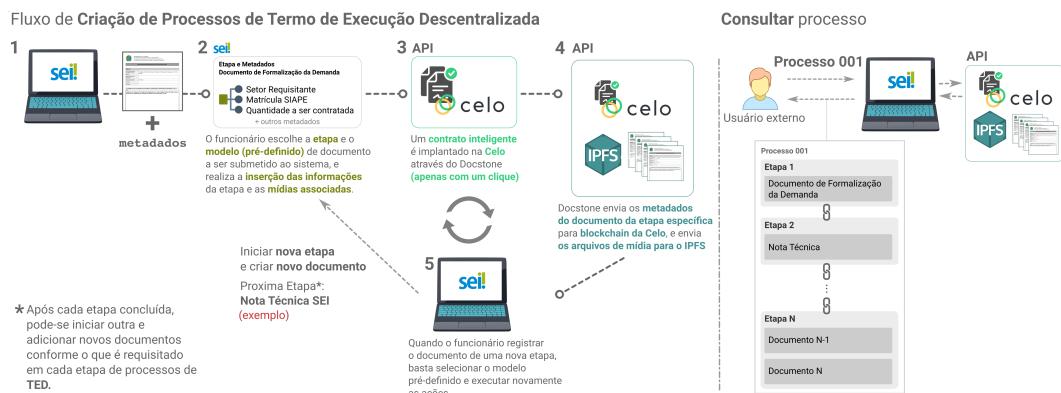
Visto que o fluxo tradicional de processos de TEDs contém diferentes etapas, o ciclo apresentado na Figura 2 pode ser executado cada vez que uma etapa é iniciada a partir do sistema SEI. No **Passo 1**, em **Fluxo de Criação de Processos de Termo de Execução Descentralizada**, o usuário do sistema SEI inicia um processo com o assunto *Patr. União: Cooperação e Parcerias*, com o que geralmente é utilizado para abrir processos de TED.

Em seguida, no **Passo 2**, o usuário seleciona um modelo pré-definido e insere as devidas informações do primeiro documento submetido ao sistema SEI, que é o *Documento de Formalização da Demanda (DFD)*, assim como a sua respectiva mídia (gerada pelo sistema ou submetida pelo usuário). Ao inserir os metadados e o arquivo de mídia, estes são enviados de forma totalmente transparente à API integrada ao sistema através de requisições. Por sua vez, no **Passo 3**, a API executa a implantação do CI correspondente ao referido processo na Celo automaticamente. Após a implantação do contrato, no **Passo 4**, todas as informações submetidas no Passo 2 são armazenadas, sendo os metadados inseridos em *blockchain* (Celo) e os arquivos de mídia no IPFS. Nesse momento, tem-se que a primeira etapa do processo, ou seja, o registro do DFD, foi realizada em *blockchain* e pode ser consultada pelas partes interessadas. No **Passo 5**, caso o usuário precise registrar o próximo documento (nova etapa), que é o registro da *Nota Técnica SEI*, o mesmo processo pode ser repetido. No entanto, não haverá mais a necessidade de instanciar um novo CI, visto que todas as próximas etapas serão executadas no CI inicialmente implantado. Dessa forma, o fluxo não irá executar o Passo 3 a partir da segunda etapa a ser processada, exceto se for realizada outra abertura de processo de TED.

¹ <https://celo.org/>

Em relação ao **Fluxo de Consultar Processo**, para fins de rastreabilidade e transparência, um usuário externo pode consultar um processo por um identificador. A partir da busca, o sistema SEI retornará todas as etapas com seus respectivos metadados (imutáveis) e mídias do IPFS. Com isso o usuário pode consultar a etapa atual do processo, assim como acessar os documentos de cada etapa.

Figura 2 – Fluxo de criação de processos de TED integrado ao uso de blockchain.



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 Prototipação visual

A Figura 3 apresenta o protótipo visual de alta fidelidade. Basicamente, esta tela contém a funcionalidade de busca do processo, a qual retornará os seus respectivos documentos. Como ilustração, as páginas a serem abertas também são apresentadas, como o próprio documento em questão e a transação em *blockchain*.

Figura 3 – Prototipação visual da Página de Transparência.

O protótipo visual da Página de Transparência é dividido em duas partes principais:

- Tela principal:** Mostra uma barra superior com o logo "SEI SPU" e uma barra de busca com o placeholder "Informe o ID do Processo". Abaixo, uma lista de etapas com suas respectivas horas e descrições:
 - 12/02/2023, 10:00 - Documento de Formalização da Demanda
 - 12/02/2023, 12:00 - Nota Técnica
 - 12/02/2023, 13:00 - Portaria
- Capturas de tela:**
 - Diário Oficial da União:** Exibe o Diário Oficial da União com o número 650, quarta-feira, 22 de abril de 2020, e uma notificação da Presidência da República sobre a nomeação de MAMÔ VIANA.
 - CELO Blockchain Network:** Exibe uma transação detalhada com o hash da transação (0xaefb1f8c6b15377858c3405723b40879e4b3dd4d8fc0a3dbab3ed85619ae), status (Success) e bloco (16428724).

* Tela desenvolvida como protótipo para fins ilustrativos.

Fonte: Elaborado pelo autor

A interface da página de transparência implementada foi inspirada no *design* da

plataforma SEI para fins de ilustração. Tal proposta visa simular a integração de uma página de transparência dos processos TED (ou outros tipos de processos do sistema) introduzidos no SEI. Inicialmente, apenas a funcionalidade de **Buscar Processo** foi implementada, podendo esta ser pelo ID do processo com a adição de filtros, como data, transação ou nome do documento. Ao buscar por um processo (sem aplicação de filtros), por exemplo, o sistema retorna uma lista cronológica de todos os documentos já inseridos no sistema SEI e, consequentemente, na *blockchain*. Cada objeto (documento) da lista é apresentado com seus respectivos metadados, nesse caso, as datas de inserção e os links do endereço do documento armazenado em IPFS e da transação realizada na Celo (que direciona para seu *explorer*). O link para o IPFS direciona para o documento original armazenado inicialmente, e o link da transação comprova que, de fato, tal fase do processo foi registrada em *blockchain*. Além disso, possibilita-se a consulta de outras informações relacionadas à transação específica (*timestamp*, *bloco*, *taxa da transação*, etc.). Outros metadados associados ao modelo do documento também podem ser retornados, e tais informações podem variar conforme as decisões de projeto ao integrar a API.

5.3 Smart contract Focus

O smart contract denominado Focus foi desenvolvido para gerenciar documentos relacionados a processos específicos através da blockchain. Implementado em Solidity, este contrato possui as seguintes funcionalidades:

- **Document:** Estrutura que guarda os atributos do documento (docsAttributes) e um identificador (cid) associado a um arquivo armazenado em IPFS.
- **insertDocument:** Permite ao proprietário inserir um documento em uma determinada etapa de um processo especificado. Caso o chamador não seja o proprietário, a função retorna uma mensagem de erro.
- **readDocuments:** Recupera todos os documentos armazenados em uma etapa específica de um processo.
- **readDocument:** Recupera um documento específico por meio da posição dentro da lista de documentos de uma etapa de um processo.
- **documentAmount:** Retorna a quantidade total de documentos armazenados em uma etapa específica do processo.

Código-fonte 1 – Contrato Docstone.sol

```
1 // SPDX-License-Identifier: MIT
2 pragma solidity ^0.8.17;
3
4 contract Docstone {
5
6     address public proprietario;
7
8     struct Document {
9         string[] docsAttributes;
10        string cid;
11    }
12    mapping(string => mapping(string => Document []))
13        private Processes;
14
15    constructor() {
16        proprietario = msg.sender;
17    }
18
19    function insertDocument(string memory _idProcess,
20        string memory _codStep, string [] memory
21        _docsAttributes, string memory _cid) public returns
22        (string memory) {
23
24        if(msg.sender != proprietario){
25            return "Error: apenas o proprietario do
26                contrato pode executar essa funcao";
27        }
28
29        Processes[_idProcess][_codStep].push(Document(
30            _docsAttributes, _cid));
31
32        return "SUCESSO: Documento Incluido";
33    }
34
35    function readDocuments(string memory _idProcess, string
```

```
memory _codStep) public returns(Document[] memory){
29    return Processes[_idProcess][_codStep];
30}
31
32    function readDocument(string memory _idProcess, string
33        memory _codStep, uint pos) public returns(Document
34        memory){
35            return Processes[_idProcess][_codStep][pos];
36}
37
38    function documentAmount(string memory _idProcess,
39        string memory _codStep) public returns(uint){
40        return Processes[_idProcess][_codStep].length;
41}
42}
```

6 RESULTADOS

6.1 Análise da Usabilidade

Para a avaliação de usabilidade da aplicação desenvolvida, foi solicitado aos participantes a realização de três tarefas específicas. Essa avaliação seguiu a abordagem descrita por Winckler (WINCKLER; PIMENTA, 2002), classificando o desempenho dos usuários em três categorias: fácil, quando a tarefa foi concluída com sucesso na primeira tentativa; difícil, quando foram necessárias duas ou mais tentativas para sua realização; e sem sucesso, quando o participante não conseguiu concluir a tarefa.

Durante a avaliação, os usuários não tiveram limite de tempo para execução das tarefas, e todas as interações foram acompanhadas para contabilização das tentativas e erros. A Figura 4 apresenta o desempenho dos 10 participantes nas três tarefas propostas.

Observando os dados da Figura 4, nota-se um desempenho bastante positivo: em 87% dos casos, os participantes conseguiram concluir as tarefas na primeira tentativa, o que evidencia um bom nível de usabilidade da aplicação. A tarefa de busca por documento de um processo filtrando pelo nome do documento, em especial, foi concluída com sucesso na primeira tentativa por todos os usuários, indicando que seu fluxo de interação está bem definido e intuitivo.

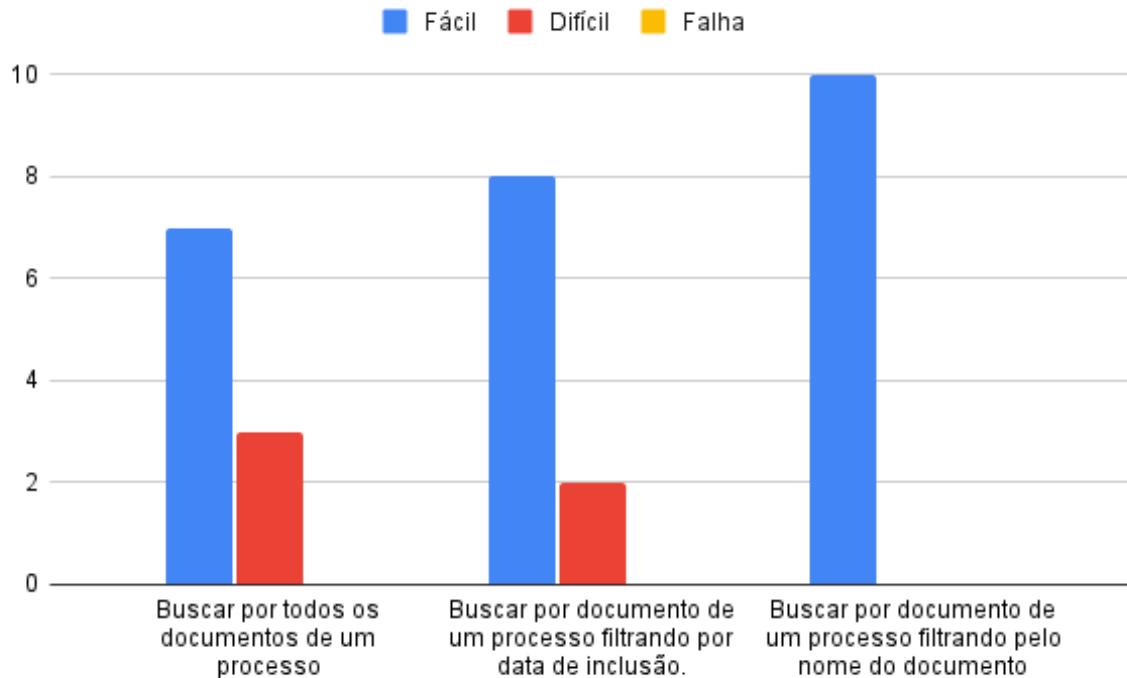
A tarefa de buscar por documento de um processo filtrando por data de inclusão também apresentou um desempenho satisfatório, sendo concluída com facilidade por 9 participantes. Apenas um participante precisou de mais de uma tentativa, não havendo casos de insucesso. Este pequeno desvio está relacionado a não identificação, por parte do participante, do botão de filtro.

Já a tarefa de buscar por todos os documentos de um processo foi a que apresentou maior variação nos resultados, sendo classificada como fácil por 7 participantes e difícil por 3. Embora todos tenham conseguido completá-la, a necessidade de múltiplas tentativas por parte de alguns usuários revelou um ponto de atenção. Durante a avaliação, foi observado que alguns participantes ficaram em dúvida sobre a necessidade de preencher informações adicionais no campo de busca, o que não estava claramente indicado no protótipo. Essa ambiguidade impactou a fluidez da tarefa e sugere a necessidade de refinar o protótipo e a sinalização dos campos obrigatórios ou opcionais, de modo a tornar a interação mais direta e previsível.

De forma geral, a análise dos dados mostra que a aplicação apresentou alta taxa de sucesso na realização das tarefas, com todos os participantes conseguindo completá-las, mesmo que alguns tenham demandado mais de uma tentativa. Isso demonstra que, embora existam

oportunidades de refinamento, a interface se mostrou funcional e compreensível para os usuários.

Figura 4 – Análise usabilidade



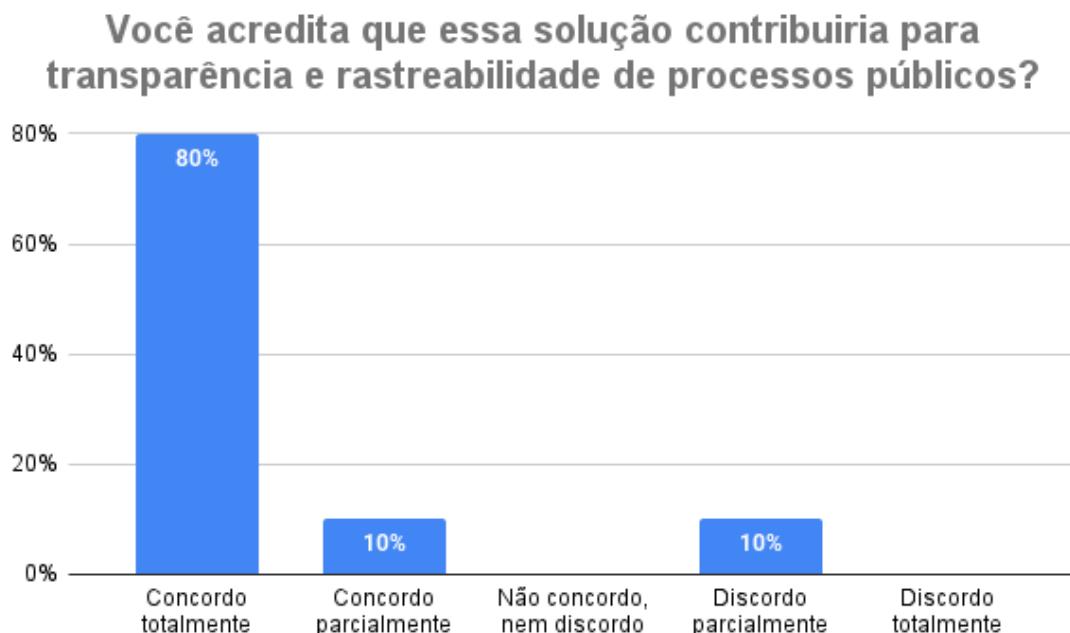
Fonte: Elaborado pelo autor

6.2 Análise de percepção de valor

Dentre as informações coletadas por meio dos questionários aplicados aos usuários durante a avaliação da aplicação, foram destacadas três questões específicas para identificar a percepção de valor da solução proposta, conforme demonstrado nas Figuras 5, 6 e 7. A primeira questão buscou avaliar se os participantes acreditavam que a solução contribuiria para a transparência e rastreabilidade de processos públicos. De forma expressiva, 80% dos respondentes afirmaram que concordam totalmente com essa contribuição, enquanto 10% concordam parcialmente e outros 10% discordam parcialmente, o que evidencia uma percepção amplamente positiva sobre o impacto da solução nesse aspecto.

A segunda pergunta investigou se os usuários utilizariam a solução para consulta de processos públicos. Os dados revelam que 60% dos participantes certamente utilizariam a solução, e 30% afirmaram que provavelmente utilizariam, totalizando 90% de aceitação. Apenas 10% manifestaram dúvidas, e nenhum participante afirmou que não utilizaria, o que demonstra o alto grau de interesse pela adoção prática da aplicação.

Figura 5 – Análise de percepção de valor da solução



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 – Análise de percepção de valor da solução



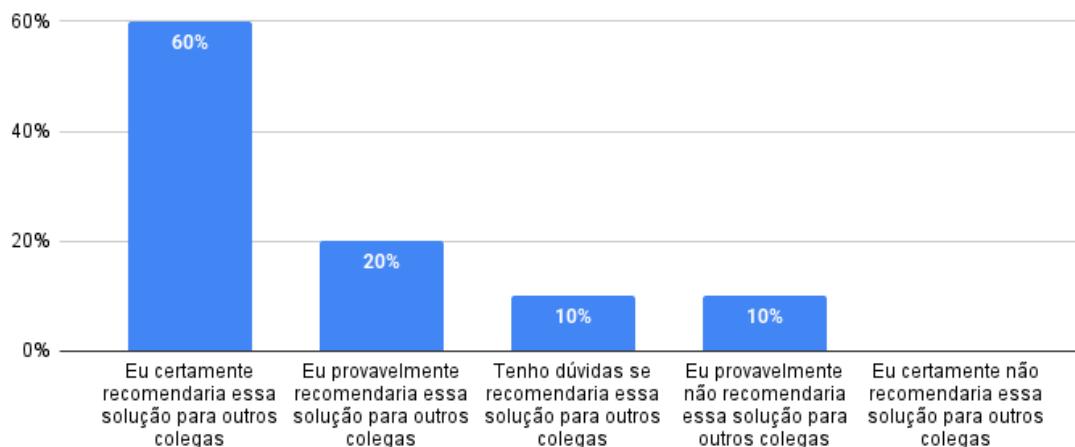
Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, a terceira questão buscou entender se os usuários recomendariam a solução a outros colegas que utilizam a plataforma SEI. Novamente, os resultados foram bastante positivos: 60% certamente recomendariam e 20% provavelmente recomendariam, somando 80% de aprovação direta. Apenas 10% apresentaram dúvidas e outros 10% afirmaram que

provavelmente não recomendariam, sem manifestações de rejeição total.

Figura 7 – Análise de percepção de valor da solução

Você recomendaria essa solução para outros colegas que utilizam a plataforma SEI?



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir desses dados, é possível observar que a solução foi percebida como valiosa pelos participantes, especialmente no que tange à sua capacidade de agregar transparência, ser utilizada em contextos reais e de ser recomendada dentro da rede de colaboradores. Essa receptividade sinaliza que a solução tem potencial de adoção e impacto prático, principalmente por alinhar-se às demandas de modernização e eficiência no acesso à informação pública.

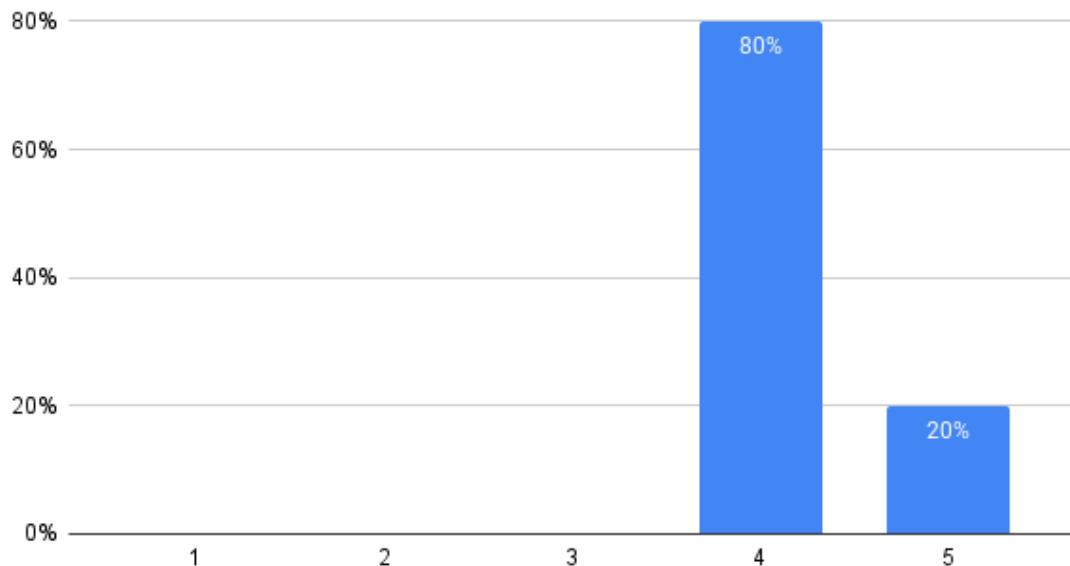
6.3 Análise *Developer Experience*

Os resultados da avaliação de experiência dos desenvolvedores com a API DocStone demonstraram um bom desempenho na dimensão cognitiva, com uma média de 4,2 em clareza da documentação Figura 8. Embora a documentação tenha sido considerada clara e os exemplos tenham sido úteis para a maioria dos desenvolvedores, alguns destacaram a necessidade de detalhamento adicional sobre métodos específicos e clareza sobre a obrigatoriedade dos parâmetros.

Em termos emocionais, Figura 9, houve uma percepção geral positiva ao final das tarefas, com sentimentos de satisfação e confiança predominantes após o período inicial de adaptação. Entretanto, 20% dos participantes relataram momentos pontuais de frustração, principalmente devido à falta de clareza nas mensagens de erro da API durante o processo de

Figura 8 – Análise *Developer Experience*

(Cognitiva) Quão fácil foi aprender a documentação da API?

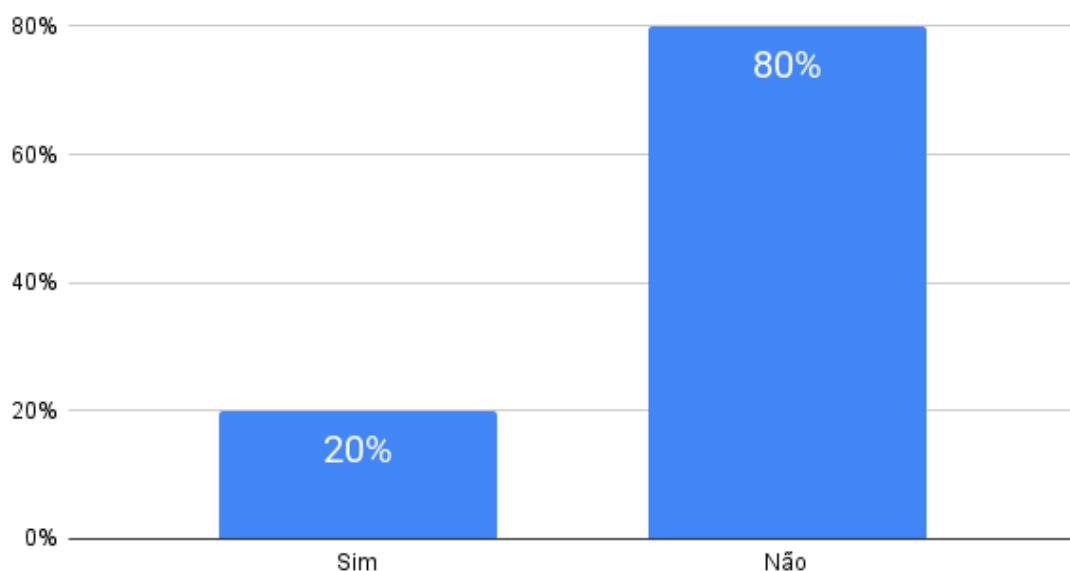


Fonte: Elaborado pelo autor

integração.

Figura 9 – Análise *Developer Experience*

(Emocional) Você se sentiu frustrado(a) em algum momento?



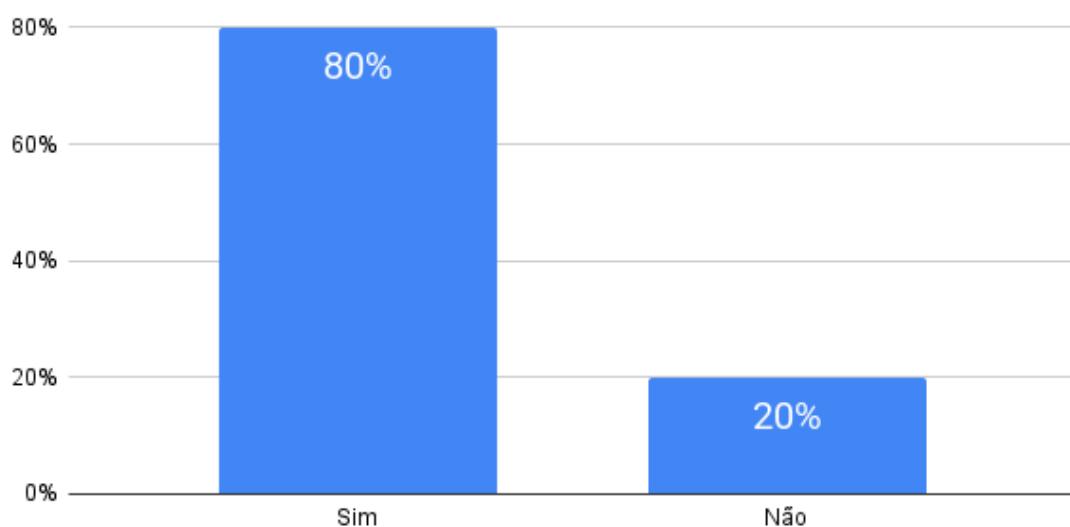
Fonte: Elaborado pelo autor

Na dimensão conativa, 80% dos participantes, Figura 10 afirmaram que utilizariam

novamente a API em futuros projetos, destacando a simplicidade e a praticidade da solução após compreensão inicial. Contudo, a intenção de recomendar a API para colegas foi um pouco menor, com 73% dos participantes dispostos a fazê-lo imediatamente, enquanto 27% prefeririam aguardar melhorias adicionais na documentação e na sinalização clara dos fluxos iniciais de uso 11.

Figura 10 – Análise *Developer Experience*

(Conativa) Você utilizaria novamente essa API em outros projetos?

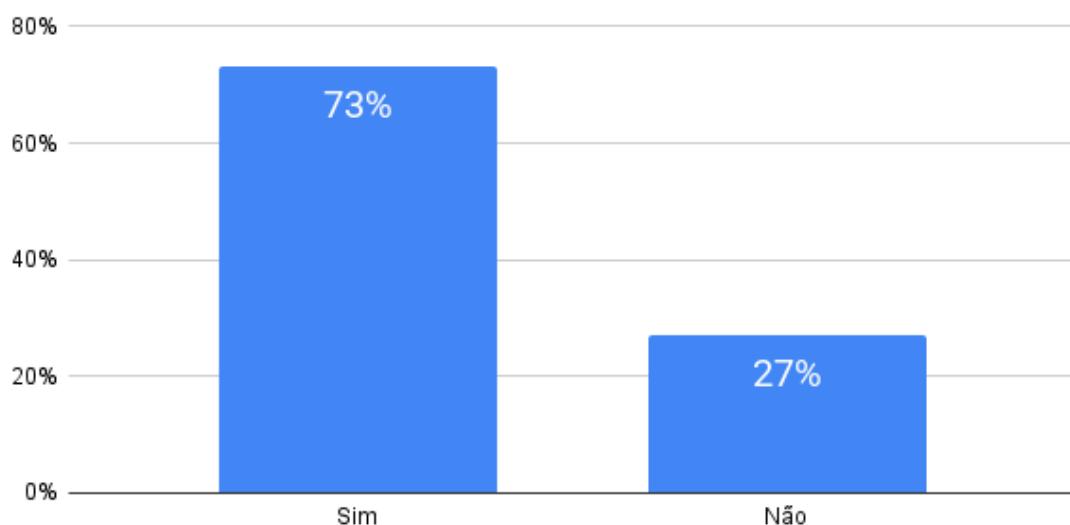


Fonte: Elaborado pelo autor

Esses resultados apontam para áreas específicas que podem ser aprimoradas, especialmente em relação às mensagens de erro e na detalhação dos fluxos iniciais de utilização, para aumentar ainda mais a satisfação e recomendação da API DocStone entre os desenvolvedores.

Figura 11 – Análise *Developer Experience*

(Conativa) Você recomendaria essa API para outros desenvolvedores?



Fonte: Elaborado pelo autor

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma proposta para integração dos sistemas da Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União (SPU) à tecnologia blockchain, visando aprimorar a transparência, rastreabilidade e integridade dos processos dos Termos de Execução Descentralizada (TEDs). A validação empírica realizada com desenvolvedores e usuários externos forneceu resultados que reforçam a viabilidade e aceitação prática da solução proposta.

As análises realizadas demonstraram que os desenvolvedores participantes consideraram a API DocStone intuitiva, indicando alta usabilidade. Destaca-se o método Think-Aloud, que revelou que os desenvolvedores conseguiram interagir rapidamente com a API, evidenciando facilidade de uso e integração simplificada, pontos críticos para adoção em ambientes governamentais.

Adicionalmente, os usuários externos, que avaliaram a prototipação visual da solução integrada ao blockchain, perceberam claramente o valor agregado pela tecnologia em relação à transparência e rastreabilidade dos processos. Essa percepção reforça o potencial da proposta como um mecanismo efetivo para atender demandas específicas de governança pública, como acesso facilitado e confiável às informações dos TEDs.

Apesar dos resultados positivos, é importante ressaltar que o escopo limitado e o número reduzido de participantes configuraram limitações desta pesquisa. Assim, estudos futuros podem ampliar esses aspectos para garantir uma maior robustez dos resultados.

Como potenciais trabalhos futuros, temos:

- Expandir a validação empírica incluindo uma amostra maior e mais diversificada de desenvolvedores e usuários externos;
- Avaliar detalhadamente o desempenho e a escalabilidade da solução em contextos reais de maior demanda;
- Investigar o impacto da solução proposta na redução de custos operacionais e no aumento da eficiência dos processos governamentais.

REFERÊNCIAS

- BECK, R.; AVITAL, M.; ROSSI, M.; THATCHER, J. B. **Blockchain technology in business and information systems research.** [S.l.]: Springer, 2017. 381–384 p.
- BENET, J. Ipfs-content addressed, versioned, p2p file system. **arXiv preprint arXiv:1407.3561**, 2014.
- BRASIL. **Decreto nº 10.426, de 16 de julho de 2020.** Brasília: [s.n.], 2020. Dispõe sobre a descentralização de créditos entre órgãos e entidades da administração pública federal integrantes dos Orçamentos Fiscal e da Seguridade Social da União, por meio da celebração de termo de execução descentralizada.
- BUTERIN, V. *et al.* A next-generation smart contract and decentralized application platform. **white paper**, v. 3, n. 37, p. 2–1, 2014.
- CGDAG. **Portfolio CGDAG - Coordenação Geral de Gestão de Base de Dados e Geoinformação.** 2022. Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/geoinformacao/copy6_of_PortflioCGDAG20162021.pdf.
- GREILER, M.; STOREY, M.-A.; NODA, A. An actionable framework for understanding and improving developer experience. **IEEE Transactions on Software Engineering**, IEEE, 2022.
- MORON, M. A. M.; BOURGUIGNON, M. F. M. Redes governamentais federais de blockchain: análise da geração de valor público. 2023.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. **Satoshi Nakamoto**, 2008.
- NARAYANAN, A. **Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction.** [S.l.]: Princeton University Press, 2016.
- SILVA, E. C. C. e.; MARQUES, R. M. Blockchain no setor público: uma revisão sistemática de literatura. **AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento**, v. 10, p. 1–11, ago. 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/atoz/article/view/79903>.
- SOARES, P.; SARAIVA, R.; FERNANDES, I.; SOUZA, J.; LOIOLA, R. Docstone: A blockchain-based architecture for a customizable document registration service. In: **Proceedings of the 16th Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse.** [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–10.
- SZABO, N. Smart contracts: building blocks for digital markets. **EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought,(16)**, v. 18, n. 2, p. 28, 1996.
- VRIES, A. D. Bitcoin's growing energy problem. **Joule**, Elsevier, v. 2, n. 5, p. 801–805, 2018.
- WINCKLER, M.; PIMENTA, M. S. Avaliação de usabilidade de sites web. **Escola de Informática da SBC Sul (ERI 2002).** Porto Alegre, v. 1, n. 85-137, p. 51, 2002.
- ØLNES, S.; UBACHT, J.; JANSSEN, M. Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. **Government Information Quarterly**, v. 34, n. 3, p. 355–364, 2017. ISSN 0740-624X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X17303155>.

APÊNDICE A – CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO DE DESENVOLVEDORES

Convite para Avaliação da Developer Experience com API Blockchain

Iago Magalhaes Fernandes <iago.fernandes@aluno.uece.br>
para iagofernandesbfh ▾

seg., 3 de mar. de 2025, 13:03 ⌂ ⌄ ⌅ ⌆

Olá, <NOME>! Tudo certo?

Me chamo Iago Magalhães Fernandes e estou concluindo a graduação em Ciência da Computação na UECE. Meu trabalho de conclusão de curso (TCC) propõe a integração dos sistemas da SPU ao **blockchain**, com foco em **transparéncia e rastreabilidade dos processos públicos**, especialmente os Termos de Execução Descentralizada (TEDs).

Como parte da avaliação da proposta, gostaria de contar com sua colaboração na **validação da experiência do desenvolvedor (Developer Experience)** ao interagir com a API construída (DocStone).

A participação consiste em:

- Um breve teste com a API (implementações básicas de requisições) utilizando a linguagem de programação Java.
- Uma sessão por **videoconferência** (cerca de 40 minutos), com observação da tarefa e uso da técnica **Think-Aloud**.
- Não é necessário conhecimento prévio da SPU nem familiaridade com o sistema SEI – apenas experiência com consumo de APIs REST.

Caso tenha interesse e disponibilidade, você pode agendar um horário no [link](#) abaixo, conforme for mais viável para você:

Após o agendamento, entraremos em contato para confirmar e enviar o link da videoconferência via **Google Meet**.

Desde já, agradeço imensamente pela atenção e apoio!

Abraços,

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DESENVOLVEDORES PARTICIPANTES

Nome	Idade	Escolaridade	Formação	Tempo de experiência com Java	Conhecimento prévio em blockchain
P1	28	Superior	Eng. da Computação	2 anos	Não
P2	31	Superior	Ciência da Computação	2 anos	Não
P3	33	Mestrado	Ciência da Computação	7 anos	Não
P4	26	Superior	Ciência da Computação	1 ano	Não
P5	28	Superior	Eng. da Computação	1 ano	Não
P6	29	Superior	Ciência da Computação	2 anos	Não
P7	31	Superior	Ciência da Computação	2 anos	Não
P8	29	Mestrado	Eng. da Computação	2 anos	Não
P9	30	Mestrado	Eng. da Computação	6 anos	Não
P10	27	Superior	Eng. da Computação	2 anos	Não
P11	31	Mestrado	Eng. da Computação	2 anos	Não
P12	29	Superior	Ciência da Computação	1 anos	Não
P13	27	Superior	Eng. da Computação	2 anos	Não
P14	33	Mestrado	Eng. da Computação	1 ano	Não
P15	28	Superior	Eng. da Computação	2 anos	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da Pesquisa:

Uma proposta de integração de sistemas da Secretaria do Patrimônio da União ao blockchain para incentivo à transparência de processos: uma Análise de Usabilidade e Experiência de Desenvolvedores

Pesquisador Responsável: Iago Magalhães Fernandes

Instituição: Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Curso: Ciência da Computação

Orientador: Prof. Jerffeson Teixeira de Souza

Contato do Pesquisador: iago.fernandes@aluno.uece.br

Apresentação da Pesquisa

Você está sendo convidado(a) a participar, de forma voluntária, da pesquisa intitulada "Uma proposta de integração de sistemas da Secretaria do Patrimônio da União ao blockchain para incentivo à transparência de processos: uma Análise de Usabilidade e Experiência de Desenvolvedores", que tem como objetivo analisar a experiência de desenvolvedores ao utilizarem uma aplicação experimental baseada em blockchain, com foco na transparência de processos administrativos. Este estudo faz parte do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

Procedimentos

Caso aceite participar, você será convidado(a) a interagir com uma aplicação web composta por quatro endpoints representando funcionalidades da integração proposta. Após essa interação, você deverá responder a um questionário contendo questões qualitativas e quantitativas relacionadas à usabilidade e à experiência geral durante a atividade. A participação terá duração estimada de até 40 minutos.

Riscos e Benefícios

Os riscos são mínimos e semelhantes aos de atividades comuns realizadas em ambiente computacional. Embora não haja benefícios financeiros diretos, sua participação contribuirá para o desenvolvimento de soluções mais transparentes e acessíveis em sistemas públicos.

Confidencialidade

As informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos e mantidas sob sigilo. Nenhum dado pessoal ou identificável será divulgado, garantindo o anonimato dos(as) participantes.

Participação Voluntária e Direito de Retirada

Sua participação é voluntária. Você poderá se recusar a participar ou desistir a qualquer momento, sem necessidade de justificativa e sem qualquer prejuízo.

Esclarecimentos

Em caso de dúvidas, você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável pelo e-mail: iago.fernandes@aluno.uece.br.

Você concorda com o termo apresentado? *

- Tenho mais de 18 anos e concordo que meus dados sejam utilizados para os fins desta pesquisa.

APÊNDICE D – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES

Dados do participante	
<small>* Indica uma pergunta obrigatória</small>	
Nome completo *	Sua resposta
Idade *	Sua resposta
Escolaridade *	<input type="radio"/> Médio <input type="radio"/> Superior <input type="radio"/> Pós-graduação <input type="radio"/> Mestrado <input type="radio"/> Doutorado
Área de formação *	Sua resposta
Cargo(atuação profissional) *	Sua resposta
Tempo de experiência com programação Java *	Sua resposta
Possui algum conhecimento sobre tecnologia blockchain? *	<input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE E – AVALIAÇÃO DEVELOPER EXPERIENCE

Developer Experience

* Indica uma pergunta obrigatória

(Cognitiva) Quão fácil foi aprender a documentação da API? *

1 2 3 4 5

(Cognitiva) Quais as dificuldades iniciais você teve para lembrar os passos? *

Sua resposta

(Emocional) Você se sentiu frustrado(a) em algum momento? *

Sim
 Não

(Emocional) Qual foi a sua sensação ao finalizar as tarefas? *

Sua resposta

(Conativa) Você utilizaria novamente essa API em outros projetos?

Sim
 Não

(Conativa) Você recomendaria essa API para outros desenvolvedores? *

Sim
 Não

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE F – CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO DE USUÁRIOS EXTERNOS

Convite para Avaliação do protótipo visual Docstone

Iago Magalhaes Fernandes <iago.fernandes@aluno.uece.br>
para iagofernandesbfh ▾

seg., 3 de mar. de 2025, 13:09 ☆ ← :

Olá, <NOME>! Tudo certo?

Me chamo Iago Magalhães Fernandes e estou concluindo a graduação em Ciência da Computação na UECE. Meu trabalho de conclusão de curso (TCC) propõe a integração dos sistemas da SPU ao **blockchain**, com foco em **transparéncia e rastreabilidade dos processos públicos**, especialmente os Termos de Execução Descentralizada (TEDs).

Como parte da avaliação da proposta, gostaria de contar com sua colaboração para realizar alguns testes de usabilidade e experiência do usuário ao protótipo visual do Docstone.

A participação consiste em:

- Um breve teste do protótipo (interações básicas com a página web).
- Uma sessão por **videoconferência** (cerca de 15 minutos), com observação da tarefa e uso da técnica **Think-Aloud**.

Caso tenha interesse e disponibilidade, você pode agendar um horário no [link](#) abaixo, conforme for mais viável para você:

Após o agendamento, entraremos em contato para confirmar e enviar o link da videoconferência via **Google Meet**.

Desde já, agradeço imensamente pela atenção e apoio!

Abraços,

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE G – CARACTERIZAÇÃO USUÁRIOS EXTERNOS PARTICIPANTES

Nome	Idade	Escolaridade
P1	30	Superior
P2	38	Superior
P3	50	Superior
P4	30	Superior
P5	41	Superior
P6	37	Superior
P7	42	Superior
P8	58	Superior
P9	60	Superior
P10	55	Superior

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE H – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES

Dados do participante

* Indica uma pergunta obrigatória

Nome completo *

Sua resposta

Idade *

Sua resposta

Escolaridade *

Médio
 Superior
 Pós-graduação
 Mestrado
 Doutorado

Já utilizou a plataforma SEI? *

Sim
 Não

Enviar **Limpar formulário**

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da Pesquisa:

Uma proposta de integração de sistemas da Secretaria do Patrimônio da União ao blockchain para incentivo à transparéncia de processos: uma Análise de Usabilidade e Experiência de Desenvolvedores

Pesquisador Responsável: Iago Magalhães Fernandes

Instituição: Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Curso: Ciência da Computação

Orientador: Prof. Jerffeson Teixeira de Souza

Contato do Pesquisador: iago.fernandes@aluno.uece.br

Apresentação da Pesquisa

Você está sendo convidado(a) a participar, de forma voluntária, da pesquisa intitulada "Uma proposta de integração de sistemas da Secretaria do Patrimônio da União ao blockchain para incentivo à transparéncia de processos: uma Análise de Usabilidade e Experiência de Desenvolvedores", que tem como objetivo analisar a experiência de desenvolvedores ao utilizarem uma aplicação experimental baseada em blockchain, com foco na transparéncia de processos administrativos. Este estudo faz parte do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

Procedimentos

Caso aceite participar, você será convidado(a) a interagir com uma aplicação web para consulta de documentos públicos. Após essa interação, você deverá responder a um questionário contendo questões qualitativas e quantitativas relacionadas à usabilidade e à experiência geral durante a atividade. A participação terá duração estimada de até 15 minutos.

Riscos e Benefícios

Os riscos são mínimos e semelhantes aos de atividades comuns realizadas em ambiente computacional. Embora não haja benefícios financeiros diretos, sua participação contribuirá para o desenvolvimento de soluções mais transparentes e acessíveis em sistemas públicos.

Confidencialidade

As informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos e mantidas sob sigilo. Nenhum dado pessoal ou identificável será divulgado, garantindo o anonimato dos(as) participantes.

Participação Voluntária e Direito de Retirada

Sua participação é voluntária. Você poderá se recusar a participar ou desistir a qualquer momento, sem necessidade de justificativa e sem qualquer prejuízo.

Esclarecimentos

Em caso de dúvidas, você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável pelo e-mail: iago.fernandes@aluno.uece.br.



Você concorda com o termo apresentado? *

Tenho mais de 18 anos e concordo que meus dados sejam utilizados para os fins desta pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE J – AVALIAÇÃO USABILIDADE

Análise de usabilidade

* Indica uma pergunta obrigatória

Você acredita que essa solução contribuiria para transparência e rastreabilidade de processos públicos? *

Concordo totalmente
 Concordo parcialmente
 Não concordo, nem discordo
 Discordo parcialmente
 Discordo totalmente

Você utilizaria essa solução para consulta de processos públicos? *

Eu certamente utilizaria essa solução
 Eu provavelmente utilizaria essa solução
 Tenho dúvidas se utilizaria essa solução
 Eu provavelmente não utilizaria essa solução
 Eu certamente não utilizaria essa solução

Você recomendaria essa solução para outros colegas que utilizam a plataforma SEI? *

Eu certamente recomendaria essa solução para outros colegas
 Eu provavelmente recomendaria essa solução para outros colegas
 Tenho dúvidas se recomendaria essa solução para outros colegas
 Eu provavelmente não recomendaria essa solução para outros colegas
 Eu certamente não recomendaria essa solução para outros colegas

O que você destacaria positivamente sobre a solução apresentada? *

Sua resposta _____

Quals seriam as suas soluções de melhoria para a solução apresentada?

Sua resposta _____

Quals seriam as suas soluções de melhoria para a solução apresentada?

Sua resposta _____

Fonte: Elaborado pelo autor