




ARTIGO DE PESQUISA/RESEARCH PAPER

Superação de Barreiras à Usabilidade em Aplicações Blockchain: Uma Análise de Interação Humano-Computador em Finanças Descentralizadas sobre Redes Compatíveis com Máquinas Virtuais do Ethereum

Overcoming Usability Barriers in Blockchain Applications: An Analysis of Human-Computer Interaction in Decentralized Finance on Ethereum Virtual Machine-Compatible Networks

Emanuele Lacerda Morais Martins  [Instituto de Tecnologia e Liderança (Inteli) | emanuele.martins@sou.inteli.edu.br]

Henrique Marlon Conceição Santos  [Instituto de Tecnologia e Liderança (Inteli) | henrique.santos@sou.inteli.edu.br]

Bryan Kano Ferreira  [Instituto de Tecnologia e Liderança (Inteli) | bryan.ferreira@prof.inteli.edu.br]

✉ Instituto de Tecnologia e Liderança (INTELI), Av. Prof. Almeida Prado, 520, Butantã, São Paulo, SP, 05508-070, Brasil.

Resumo. O estudo investiga barreiras de usabilidade em aplicações de Finanças Descentralizadas (DeFi) executadas em redes compatíveis com a Ethereum Virtual Machine (EVM), mostrando que problemas de fluxo, terminologia e feedback comprometem a adoção, especialmente entre iniciantes. Para enfrentar essas limitações, o trabalho propõe uma interface de usuário aprimorada e a compara a uma versão não otimizada usando métricas de desempenho, número de cliques e o questionário NASA-TLX. Os resultados indicam que a interface melhorada elevou a taxa de conclusão de tarefas de 76% para 89%, reduziu os cliques excedentes de 221 para 186 e diminuiu a carga cognitiva global aferida pelo NASA-TLX em todas as seis dimensões avaliadas, com destaque para demanda mental e frustração, inclusive entre usuários experientes, que relataram maior fluidez e previsibilidade. O artigo conclui que refinamentos de usabilidade voltados para aplicações financeiras descentralizadas são determinantes para elevar confiança e adoção, recomendando a padronização de processos, mensagens menos técnicas e a redução de etapas críticas para mitigar a fadiga de operações e ampliar o alcance da Web3.

Abstract. This study examines usability barriers in Decentralized Finance (DeFi) applications operating on Ethereum Virtual Machine (EVM)-compatible networks, showing that issues related to user flow, terminology, and feedback hinder adoption, particularly among novice users. To address these challenges, the work proposes an improved interface and compares it with a non-optimized version using performance metrics, click counts, and the NASA-TLX questionnaire. The results indicate that the enhanced interface raised the task-completion rate from 76% to 89%, reduced excess clicks from 221 to 186, and decreased perceived cognitive load across all six NASA-TLX dimensions, most notably mental demand and frustration, including among experienced users, who reported greater fluency and predictability. The study concludes that targeted usability refinements are essential to strengthening user trust and adoption of decentralized financial applications, recommending process standardization, less technical messaging, and the reduction of critical steps to mitigate operational fatigue and broaden Web3 accessibility.

Palavras-chave: Usabilidade em Finanças Descentralizadas (DeFi); Interação Humano-Computador (IHC); Blockchain; Experiência do Usuário (UX).

Keywords: Usability in Decentralized Finance (DeFi); Human-Computer Interaction (HCI); Blockchain; User Experience (UX).

Recebido/Received: 18 December 2025 • Aceito/Accepted: 20 March 2026 • Publicado/Published: 17 April 2026

1 Introdução

Na última década, o avanço das tecnologias de blockchain tem possibilitado o surgimento de um novo paradigma financeiro, no qual a intermediação é substituída por contratos inteligentes que operam de maneira autônoma e transparente. Dentro desse contexto, as aplicações de finanças descentralizadas (DeFi) se consolidaram como um dos pilares mais promissores da Web3, oferecendo instrumentos financeiros acessíveis, auditáveis e globais. Contudo, a promessa de democratização trazida por tais sistemas tem sido limitada por um fator frequentemente subestimado: a usabilidade. Apesar do rigor técnico e da robustez criptográfica dessas soluções,

o processo de interação com carteiras digitais, a assinatura de transações e o gerenciamento de chaves privadas ainda impõem barreiras consideráveis, especialmente para usuários iniciantes. Essa complexidade técnica, aliada à falta de padronização de fluxos e de terminologias consistentes, contribui para uma experiência fragmentada que restringe a adoção em larga escala, evidenciando a necessidade de investigar a interação entre humanos e sistemas descentralizados sob a ótica da Interação Humano-Computador (IHC).

Pesquisas recentes indicam que a experiência do usuário é um fator crítico para a consolidação das tecnologias descentralizadas Voskoboynikov *et al.* [2021b]; Jang and Han [2022];

Glomann *et al.* [2020]. Estudos sobre o comportamento de usuários em plataformas de finanças descentralizadas apontam que dificuldades em tarefas aparentemente simples, como conectar uma carteira, compreender taxas de transação ou interpretar mensagens de erro, resultam em elevados índices de abandono logo nas primeiras interações. Além disso, o excesso de confirmações e de etapas técnicas durante operações rotineiras favorece o surgimento do fenômeno conhecido como fadiga de operações, no qual o esforço cognitivo exigido supera os benefícios percebidos do sistema, reduzindo o engajamento e a confiança do usuário. Tais evidências revelam que a segurança técnica, quando considerada de forma isolada, é insuficiente para promover a adoção dessas aplicações, sendo a segurança percebida e a fluidez da interação igualmente determinantes para o sucesso de uma aplicação descentralizada. Nesse sentido, compreender como os usuários se comportam, interpretam e reagem a esses sistemas torna-se essencial para alinhar o design das interfaces às suas expectativas e limitações cognitivas.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar e propor formas de superar barreiras de usabilidade em aplicações DeFi, com foco na redução da fadiga operacional e na ampliação da compreensão do usuário sobre os processos envolvidos. Para isso, foi desenvolvida uma metodologia experimental baseada em testes A/B com duas versões de uma mesma plataforma, uma construída segundo princípios heurísticos de usabilidade e outra propositalmente desprovida desses preceitos, mas ambas sustentadas pelo mesmo contrato inteligente. Essa abordagem permite isolar o impacto do design da interface sobre a experiência do usuário, mensurando diferenças em eficiência, eficácia e satisfação. Os resultados obtidos indicam que a versão fundamentada em heurísticas de usabilidade elevou a taxa de conclusão de tarefas de 76 % para 89 %, reduziu cliques redundantes e promoveu quedas expressivas na carga cognitiva percebida em todas as dimensões do NASA-TLX, com benefícios observados inclusive entre usuários avançados. O estudo busca, assim, contribuir para o avanço das práticas de design e avaliação de usabilidade em ambientes descentralizados, oferecendo evidências empíricas sobre como decisões de interface influenciam a confiança, o esforço cognitivo e o engajamento dos usuários em ecossistemas de finanças descentralizadas.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Fundamentos de Blockchain

A *blockchain* é um sistema de registros distribuídos, compartilhados e imutáveis, no qual transações são gravadas permanentemente e só podem ser alteradas mediante consenso entre os participantes da rede Bashir [2018]. Esse modelo elimina a necessidade de intermediários, permitindo transações diretas e verificáveis. A tecnologia tem origem nos estudos sobre dinheiro eletrônico e ganhou sua primeira implementação prática com o *Bitcoin*, proposto em 2008 por Nakamoto [2008]. Ao combinar ideias anteriores, como b-money Dai [1998] e HashCash Back [2002], o *Bitcoin* introduziu um sistema monetário descentralizado, resistente à censura e sem autoridade central, utilizando o mecanismo de *Proof-of-Work* para resolver o problema do gasto duplo e alcançar consenso global Antonopoulos [2014].

Embora o *Bitcoin* tenha demonstrado a viabilidade de um sistema financeiro descentralizado, sua arquitetura foi concebida principalmente para a transferência de valor. Essa limitação motivou o surgimento de plataformas mais gerais, como o *Ethereum*, lançado em 2015, cuja proposta foi estender a *blockchain* para a execução de contratos inteligentes e aplicações descentralizadas Buterin [2014] Antonopoulos and Wood [2018]. O núcleo dessa abordagem é a *Ethereum Virtual Machine (EVM)*, uma máquina virtual distribuída que executa código de forma determinística em todos os nós da rede, garantindo transições de estado idênticas e confiáveis em toda a cadeia.

Do ponto de vista arquitetural, a *blockchain* organiza dados em blocos encadeados criptograficamente por meio de *hashes*. Cada bloco contém um cabeçalho, com informações como *nonce*, *parentHash* e *Merkle Root*, e um corpo com as transações Bashir [2018]. A integridade do sistema é assegurada pela ligação entre blocos e por mecanismos de consenso, como *Proof-of-Work* e *Proof-of-Stake*, que determinam como novos blocos são produzidos e validados. A segurança baseia-se ainda em criptografia assimétrica, assinaturas digitais e funções de *hash*, permitindo autenticação, integridade e não repúdio das transações, bem como o controle dos ativos por meio de chaves privadas e mecanismos de backup como *seed phrases* Antonopoulos and Wood [2018].

2.2 Princípios de Interação Humano-Computador (IHC)

A Interação Humano-Computador (IHC) é uma área multidisciplinar que integra ciência da computação, psicologia cognitiva e design, com o objetivo de melhorar a comunicação entre pessoas e sistemas computacionais Nielsen [1994]. Seu foco está no desenvolvimento, avaliação e implementação de sistemas interativos que considerem necessidades, limitações e expectativas dos usuários, promovendo interações mais eficientes, intuitivas e acessíveis. Conforme definido pela ACM SIGCHI, a IHC enfatiza a natureza da interação humana com os sistemas, indo além de sua representação visual Hewett *et al.* [1992]. Nesse contexto, a usabilidade refere-se à eficácia, eficiência e satisfação no alcance de objetivos de acordo com a ISO [2018], enquanto a experiência do usuário (UX) abrange percepções, emoções e expectativas que emergem ao longo da interação Preece *et al.* [2002].

Entre os princípios centrais da IHC destacam-se *affordance*, visibilidade e carga cognitiva, fundamentais para o projeto de interfaces compreensíveis. *Affordances* correspondem às pistas perceptíveis que indicam ações possíveis, devendo ser claras e consistentes para evitar ambiguidades Preece *et al.* [2002] Norman [2013]. A visibilidade diz respeito à clareza das funções disponíveis e do estado do sistema, apoiada por feedback imediato e mapeamentos intuitivos entre ações e efeitos. A ausência desses elementos aumenta a probabilidade de erros, sobretudo em sistemas complexos. Já a carga cognitiva relaciona-se ao esforço mental exigido do usuário, sendo influenciada por fatores como excesso de opções e número de etapas, conforme evidenciado por leis clássicas da psicologia cognitiva Hick [1952] Fitts [1954].

No domínio da segurança, a IHC enfatiza a distinção entre segurança técnica e segurança percebida. Embora sistemas como os baseados em *blockchain* sejam tecnicamente

robustos, a confiança do usuário depende de interfaces que comuniquem claramente riscos, permissões e consequências das ações Preece *et al.* [2002]. O princípio da aceitabilidade psicológica estabelece que mecanismos de segurança devem ser compreensíveis e não excessivamente onerosos Saltzer and Schroeder [1975]. Interfaces mal projetadas podem induzir erros críticos, como autorizações indevidas ou perda de ativos, mesmo em sistemas criptograficamente seguros Whitten and Tygar [1999]. Assim, modelos de avaliação baseados em heurísticas, testes com usuários e instrumentos como o NASA-TLX são essenciais para identificar sobrecarga cognitiva, frustração e falhas de design, especialmente em aplicações blockchain, nas quais erros tendem a ser irreversíveis Nielsen [1994] Hart and Staveland [1988].

3 Revisão da literatura

A literatura aponta que a adoção de aplicações de finanças descentralizadas (*DeFi*) é fortemente limitada por barreiras de usabilidade e pela fadiga operacional imposta aos usuários. Estudos em IHC destacam que usuários não especialistas enfrentam dificuldades para formar modelos mentais estáveis, sobretudo devido a fluxos complexos, terminologia técnica e baixa transparência das etapas Jang *et al.* [2020]. Além disso, sequências longas de aprovações e confirmações tendem a gerar cansaço, insegurança e abandono precoce Saldivar *et al.* [2023]. A ausência de mecanismos de abstração progressiva faz com que iniciantes sejam confrontados prematuramente com conceitos avançados, como permissões de contratos inteligentes e parâmetros de execução, o que compromete a compreensão global do sistema e eleva o risco de erros operacionais Saldivar *et al.* [2023]. Estudos convergem ao afirmar que tecnologias emergentes dificilmente alcançam adoção sustentada sem uma atenção consistente à experiência do usuário, exigindo equilíbrio entre inovação técnica e design centrado no usuário Glomann *et al.* [2019]. Assim, a experiência inicial exerce papel determinante na construção de confiança e na disposição do usuário em continuar explorando o ecossistema.

No contexto do *DeFi*, as barreiras de usabilidade manifestam-se já no onboarding, etapa frequentemente marcada por configurações complexas, pouca orientação e elevada responsabilidade do usuário. A criação e o gerenciamento de carteiras, especialmente o uso e a recuperação da *seed phrase*, representam pontos críticos de fricção e risco percebido Voskoboynikov *et al.* [2021a] Moniruzzaman *et al.* [2020]. Soma-se a isso o desalinhamento entre expectativas oriundas do sistema bancário tradicional e as propriedades da blockchain, como irreversibilidade das transações e definição descentralizada de taxas, frequentemente mal compreendidas Voskoboynikov *et al.* [2021a]. Interfaces pouco intuitivas, mensagens de erro pouco informativas e barreiras linguísticas intensificam a insegurança, ampliando o custo cognitivo e reduzindo a confiança do usuário Froehlich *et al.* [2021]. Esses fatores formam um ciclo de fricções que dificulta a fluência operacional e limita a retenção no ecossistema.

Outro aspecto relevante refere-se à gestão de permissões e à segurança contextual. A necessidade de conceder autorizações amplas e pouco compreendidas a contratos inteligentes é frequentemente percebida como um risco significativo. Interfaces que sintetizam, em linguagem acessível, o escopo,

a duração e as implicações dessas permissões, bem como mecanismos simples para sua revogação, tendem a reduzir tanto o risco real quanto o risco percebido, fortalecendo a sensação de controle por parte do usuário Froehlich *et al.* [2021]. Esse cenário de baixa transparência e elevada exigência cognitiva estende-se aos fluxos operacionais de forma mais ampla. Observa-se que a fadiga operacional decorre, em grande medida, da exigência de múltiplas etapas, confirmações repetidas e longos tempos de espera sem a provisão de feedback adequado. Usuários relatam frustração ao navegar por fluxos fragmentados, muitas vezes distribuídos entre diferentes plataformas, o que contribui para o aumento da ansiedade e da sobrecarga cognitiva Albayati *et al.* [2021] Si *et al.* [2024]. Testes de usabilidade indicam que grande parte do tempo de interação é consumida por tarefas relacionadas ao uso de carteiras como a MetaMask, especialmente durante a instalação e a criação de contas, além da dificuldade de compreender termos técnicos apresentados nas janelas de transação Saldivar *et al.* [2023].

Como resposta a esses problemas, a literatura sugere padrões de design voltados à redução de fricção, como alinhamento com modelos mentais de sistemas bancários tradicionais, onboarding guiado, abstração de complexidade para iniciantes e comunicação clara sobre estados e limitações do sistema Jang *et al.* [2020] Voskoboynikov *et al.* [2021a]. Estratégias como divulgação progressiva de funcionalidades, perfis de uso diferenciados e tutoriais contextuais permitem que a complexidade seja introduzida gradualmente, respeitando o nível de proficiência do usuário.

Adicionalmente, avanços técnicos como *account abstraction* e *meta-transactions* possibilitam a redução do atrito operacional ao permitir que detalhes como o pagamento de taxas e a composição de transações sejam parcialmente ocultados do usuário final. Essas soluções viabilizam fluxos baseados em intenção, nos quais o usuário aprova ações em termos compreensíveis, enquanto o sistema gerencia os aspectos técnicos subjacentes, preservando a segurança e a verificabilidade. A simplificação de fluxos, a agregação de autorizações, o uso de feedback imediato e a automação de tarefas repetitivas são apontados como estratégias centrais para reduzir o cansaço operacional sem comprometer a segurança Si *et al.* [2024] Saldivar *et al.* [2023]. Práticas como preenchimento inteligente, reaproveitamento de preferências e autenticação de baixo atrito, incluindo biometria, contribuem para acelerar interações frequentes, desde que acompanhadas de explicações claras sobre seu funcionamento e implicações.

Por fim, destaca-se que a efetividade dessas estratégias depende de avaliações sistemáticas de usabilidade. Métricas como taxa de sucesso em tarefas, tempo de execução, carga mental percebida e retenção ao longo do tempo são essenciais para verificar se intervenções de design de fato reduzem fricções e promovem uma experiência mais sustentável no uso contínuo de aplicações *DeFi*.

4 Metodologia

Neste estudo, investigamos formas de reduzir barreiras de usabilidade e a fadiga operacional em aplicações, por meio de um teste A/B com duas versões de uma plataforma *DeFi* desenvolvida especificamente para este estudo, idênticas em

funcionalidade, sustentadas pelo mesmo contrato inteligente, e distintas apenas nos princípios de usabilidade aplicados à interface. Doravante, a versão desenvolvida sem a aplicação deliberada de princípios de usabilidade será denominada **P1**, enquanto a versão projetada com base em heurísticas consolidadas de UX será denominada **P2**. O experimento foi conduzido com uma amostra de 47 participantes, que interagiram com ambas as versões da aplicação no cenário experimental. A literatura aponta que operações envolvendo *stablecoins*, troca de ativos e transferências constituem as interações centrais em ambientes *DeFi*, sendo determinantes para a experiência do usuário Gogel *et al.* [2021]. Assim, as funcionalidades implementadas no cenário experimental, sendo elas, depósito e retirada de ativos, troca e envio entre usuários, refletem práticas recorrentes dos principais protocolos descritos na literatura.

Com base nesse desenho experimental, foram formuladas as seguintes hipóteses de pesquisa:

1. P2 aumenta a satisfação e reduz a carga cognitiva percebida em relação a P1;
2. Os benefícios de P2 são mais observados entre usuários novatos do que entre usuários experientes;
3. P2 reduz a taxa de abandono de tarefas quando comparada a P1.

Para viabilizar a comparação, as duas versões da aplicação foram implementadas com abordagens distintas de usabilidade. P2 seguiu princípios heurísticos consolidados, priorizando *feedback* imediato, terminologia clara e consistente, redução da carga cognitiva e prevenção de erros Nielsen and Molich [1990], além de fluxos intuitivos e indicadores visuais de progresso. Em contraste, P1 adotou linguagem técnica, apresentou escassez de *feedback*, baixa consistência visual e mensagens genéricas de erro ou confirmação, configurando um cenário menos amigável e representativo de barreiras ainda comuns em aplicações *DeFi*, sem comprometer a segurança ou a funcionalidade essencial do sistema.

4.1 Métricas do estudo

Para a construção das métricas deste estudo, serão utilizadas medidas objetivas e subjetivas para obtenção de dados quantitativos. Em pesquisas de usabilidade, métricas objetivas como tempo de execução, número de cliques e taxa de sucesso permitem quantificar a eficiência e a eficácia do sistema. No entanto, essas métricas não capturam aspectos subjetivos da experiência do usuário, como satisfação, carga cognitiva ou reações emocionais Foster *et al.* [2009] ASSILA *et al.* [2016]. Nesse contexto, estudos defendem que, além das métricas objetivas de desempenho, é fundamental compreender as percepções dos usuários, especialmente considerando o caráter inovador, tecnicamente complexo e cognitivamente exigente desses sistemas Saldívar *et al.* [2023].

4.1.1 Métricas objetivas de desempenho

Os dados estatísticos utilizados neste estudo contemplam métricas objetivas voltadas à eficiência, eficácia e esforço operacional da interação. O tempo de sessão foi adotado como métrica clássica de eficiência, conforme definido pela norma ISO 9241-11 ISO [2018], sendo também apontado por Nielsen como um indicador central da intuitividade de interfaces

Nielsen [1994]. A taxa de sucesso foi incluída como medida de eficácia, pois expressa diretamente a capacidade dos usuários de alcançar seus objetivos no sistema Nielsen [1994]; Rubin and Chisnell [2008]. Complementarmente, o número de cliques foi utilizado para estimar a carga de trabalho operacional, uma vez que interfaces que exigem menos interações tendem a reduzir esforço cognitivo e físico Shneiderman and Plaisant [2004]. Essas métricas permitem avaliar não apenas se as tarefas foram concluídas, mas também o custo interacional envolvido. A Tabela 1 sintetiza as métricas adotadas e seus respectivos métodos de registro.

Tabela 1. Métricas objetivas utilizadas no estudo

Métrica	Descrição	Registro
Tempo de sessão	Tempo total necessário para a execução das tarefas	Logs automáticos
Taxa de sucesso	Conclusão correta das tarefas propostas	Sucesso / falha
Número de cliques	Quantidade de interações necessárias por tarefa	Contagem de cliques

4.1.2 Métricas subjetivas de experiência

Para complementar a análise objetiva do desempenho, foram coletados dados subjetivos de carga cognitiva percebida por meio do NASA Task Load Index (NASA-TLX), um instrumento amplamente validado para mensuração de carga de trabalho mental em sistemas interativos Hart and Staveland [1988]; Hart [2006]. O NASA-TLX é especialmente adequado para aplicações *DeFi*, nas quais os usuários realizam tomadas de decisão, análises de risco e operações sequenciais.

Neste estudo, utilizou-se a variante RAW do NASA-TLX, que dispensa a ponderação entre dimensões e simplifica a aplicação do instrumento Byers *et al.* [1989]. Cada participante respondeu a um único questionário por interação, atribuindo notas de 0 a 100 às seis dimensões avaliadas. A pontuação final corresponde à média aritmética dessas dimensões, resultando em um escore único representativo da carga cognitiva percebida. Estudos indicam que essa variante apresenta confiabilidade comparável à versão ponderada, com boa validade psicométrica Grier [2015]. A Tabela 2 demonstra as dimensões avaliadas pelo NASA-TLX (RAW).

4.2 Estratificação dos participantes

Para a condução do experimento, os participantes foram distribuídos em três grupos conforme o nível de familiaridade com aplicações *DeFi*: iniciantes, intermediários e avançados. Essa estratificação permite analisar como diferentes graus de experiência influenciam a percepção de usabilidade e a carga cognitiva percebida, aspecto relevante em domínios tecnicamente complexos Nielsen [1994]. A classificação foi realizada por autodeclaração, método amplamente adotado em estudos de IHC quando a expertise é subjetiva e dependente do contexto Nielsen [1994]; Preece *et al.* [2002]; McGrenere and Ho [2000]; Tullis and Albert [2008]. Para mitigar o viés de aprendizado, a ordem de exposição a P1 e P2 foi alternada aleatoriamente entre os participantes. Essa estratégia reduz o efeito de familiarização prévia com as tarefas, aumentando a

Tabela 2. Dimensões avaliadas pelo NASA-TLX (RAW)

Dimensão	Descrição
Exigência Mental	Esforço cognitivo necessário para compreender, decidir e lembrar informações durante o uso da plataforma.
Exigência Física	Esforço físico envolvido nas interações, como cliques, digitação e movimentação do cursor.
Exigência Temporal	Grau de pressão de tempo percebido durante a execução das tarefas.
Desempenho	Nível de satisfação do usuário com o próprio desempenho geral na plataforma.
Esforço	Quantidade total de esforço exigida para concluir as tarefas com sucesso.
Frustração	Grau de estresse, insegurança ou frustração percebido durante a interação.

confiabilidade da comparação entre as duas condições experimentais Rubin and Chisnell [2008]. A figura 1 demonstra o fluxo de aplicação dos testes.

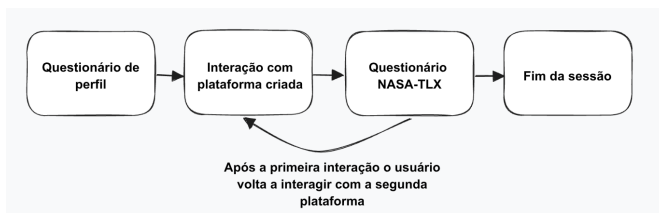


Figura 1. Fluxo de aplicação dos testes. Fonte: Autoria própria

4.3 Procedimento do teste de usabilidade

A literatura ressalta que a definição de tarefas específicas e consistentes é essencial para a validade dos testes de usabilidade Group [2023], e que procedimentos padronizados são necessários para permitir comparações sistemáticas entre diferentes condições experimentais Bastien [2010]. Dessa forma, para a execução dos testes, foi estabelecido um conjunto de tarefas que todos os participantes deveriam realizar em ambas as plataformas. Essas tarefas foram elaboradas de modo a contemplar as principais funcionalidades do sistema e a mimetizar o comportamento típico de usuários em plataformas *DeFi*, assegurando a padronização entre os testes e possibilitando a obtenção de resultados consistentes para a análise.

Além disso, a escolha das tarefas buscou refletir cenários de uso realistas, incorporando operações centrais identificadas na literatura como fundamentais para a experiência de interação em ambientes *DeFi*, tais como depósito e retirada de ativos, troca de tokens, transferências entre usuários e operações de empréstimo Gogel et al. [2021]. A inclusão desses fluxos garante não apenas a avaliação da usabilidade de funcionalidades representativas, mas também a possibilidade de analisar como diferentes níveis de experiência dos participantes impactam sua interação com o sistema. A Tabela 3 demonstra o roteiro de tarefas do procedimento de testes.

Tabela 3. Roteiro de tarefas do teste de usabilidade

Nº	Tarefa	Objetivo
1	Depositar ativos	Verificar a compreensão dos passos e confirmações para adicionar <i>stablecoins</i> .
2	Trocar ativos (<i>swap</i>)	Avaliar a intuitividade da conversão entre tokens e a clareza dos resultados.
3	Transferir ativos	Analisar a clareza e a segurança percebida no envio de tokens a outro usuário.
4	Retirar ativos	Avaliar facilidade e confiança no fluxo de saque de fundos.

5 Desenvolvimento dos Protótipos

5.1 Smart Contracts

Para a representação das funcionalidades descritas na metodologia, foram desenvolvidos três contratos inteligentes principais. O primeiro deles, denominado *Vault*, é responsável pela gestão dos tokens e constitui o núcleo operacional do sistema. Os demais contratos, *TokenFactory* e *BaseToken*, foram criados para permitir a geração dinâmica de novos tokens e a definição de suas propriedades fundamentais. O desenvolvimento foi conduzido na linguagem *Solidity*, dentro do *framework Foundry*, que oferece um ambiente completo amplamente utilizada pelo mercado de desenvolvedores blockchain para a escrita, teste e implantação de contratos inteligentes. Essa ferramenta permite a execução de testes automatizados e simulações em ambiente local, garantindo maior controle sobre os experimentos e replicabilidade dos resultados.

5.1.1 Tokens do Sistema Simulado

Os tokens utilizados no sistema simulado seguem o padrão *ERC20*, amplamente adotado em blockchains compatíveis com a *EVM*, garantindo interoperabilidade entre tokens fungíveis. Esse padrão define funções essenciais, como *balanceOf* e *transfer*, além de mecanismos de aprovação (*approve*, *transferFrom* e *allowance*) e eventos de rastreamento (*Transfer* e *Approval*), permitindo auditoria e monitoramento por *dApps*. Foram criados dois tokens para a simulação: *USD*, representando uma *stablecoin* fictícia atrelada ao dólar, com 18 casas decimais, e *WBTC*, uma versão tokenizada do Bitcoin, com 8 casas decimais. Essa diferença de granularidade impacta diretamente as operações de conversão no contrato *Vault*, exigindo a normalização das unidades numéricas antes dos cálculos entre ativos.

5.1.2 Contrato Vault

O contrato *Vault* concentra as operações centrais do sistema, permitindo que usuários realizem depósitos, saques, transferências internas e conversões entre tokens de forma descentralizada, segura e auditável. Essas funcionalidades constituem o núcleo da interação com a plataforma, viabilizando o gerenciamento de ativos digitais por meio de uma contabilidade interna consistente e transparente.

O depósito registra a entrada de valores na carteira interna do usuário. A função `deposit()` aceita tokens *ERC20*, garantindo interoperabilidade, e no caso do token nativo, o valor enviado é diretamente creditado no saldo interno, com

emissão do evento `Deposit` para fins de rastreabilidade. O saque executa o fluxo inverso, debitando o saldo registrado e transferindo o valor ao endereço informado, emitindo o evento `Withdraw`. Essa simetria entre depósito e retirada assegura consistência contábil e reforça a confiabilidade do contrato como custodiante digital.

O contrato também permite transferências internas por meio da função `transferInternal()`, que atualiza os saldos do remetente e do destinatário apenas no estado interno do contrato, sem gerar transações on-chain adicionais. Esse modelo reduz custos e latência, mantendo a integridade e a rastreabilidade das movimentações por meio de eventos, além de possibilitar a execução eficiente de múltiplas operações lógicas antes de um registro definitivo na blockchain.

A funcionalidade mais complexa do `Vault` é a conversão entre tokens, implementada pela função `swap()`, que possibilita trocas com base em preços de mercado atualizados. Para isso, o contrato integra-se à rede `Chainlink`, que fornece *price feeds* descentralizados e agregados a partir de múltiplas fontes, reduzindo riscos de manipulação de preços. Cada token é associado a um oráculo específico por meio da função `setTokenPriceFeed()`, permitindo acesso tanto ao valor do ativo quanto às suas casas decimais.

Durante a conversão, a função `getTokenPrice()` recupera os preços dos tokens envolvidos e a quantidade resultante é calculada com a normalização das bases decimais, conforme a expressão:

$$amountOut = \frac{quantity \times sellTokenPrice \times 10^{decimals_{buy}}}{buyTokenPrice \times 10^{decimals_{sell}}}$$

Esse ajuste é necessário porque tokens ERC20 podem adotar diferentes granularidades. No sistema, foram utilizados os tokens USD (18 casas decimais) e WBTC (8 casas decimais), exigindo conversões de escala para garantir precisão matemática. Após a padronização, o contrato verifica a liquidez disponível, efetiva o débito e o crédito dos ativos correspondentes e emite o evento `Swap`, assegurando um fluxo determinístico, transparente e totalmente auditável.

5.1.3 Contrato `TokenFactory` e `BaseToken`

O contrato `TokenFactory` foi projetado para criar dinamicamente novos tokens compatíveis com o padrão ERC20, seguindo o *factory pattern*. A criação de um novo token requer apenas parâmetros básicos, como nome, símbolo, casas decimais e oferta inicial, e cada instância gerada é registrada na blockchain por meio de eventos, permitindo rastreamento e auditoria. Um mapeamento interno mantém a associação entre o nome do token e seu endereço, facilitando consultas e integrações com outros contratos.

O contrato `BaseToken` fornece a implementação genérica do padrão ERC20 utilizada pelos tokens criados pela `TokenFactory`. Ele define funções essenciais de transferência, aprovação e movimentação delegada, além de mecanismos de emissão (`mint`) e destruição (`burn`) de tokens. A emissão é controlada pelo modificador `onlyOwner`, prevenindo inflação não autorizada, enquanto os eventos padrão do ERC20 garantem transparência, interoperabilidade e plena compatibilidade com o ecossistema EVM.

5.2 Frontend do protótipo P1

P1 foi construído com o auxílio da ferramenta `V0`¹, utilizada para gerar rapidamente uma interface funcional, porém sem a aplicação deliberada de boas práticas de UX. A ausência de heurísticas refinadas resulta em uma interação com baixa visibilidade do estado do sistema, *affordances* pouco evidentes e escassa orientação aos objetivos do usuário, fatores que aumentam a carga cognitiva e reduzem a previsibilidade da navegação Nielsen [1994]. Além disso, toda a interação ocorre exclusivamente por meio da extensão `MetaMask`², sem abstrações adicionais, exigindo que o usuário compreenda diretamente processos técnicos como conexão de carteira, assinatura e gerenciamento de transações, o que compromete princípios de redução de complexidade, prevenção de erros e feedback adequado Nielsen [1994]. A falta de retornos imediatos após ações críticas, aliada ao uso de mensagens técnicas de erro e confirmação, intensifica a incerteza durante a execução das tarefas, especialmente para usuários com menor familiaridade com aplicações descentralizadas.

A aplicação foi desenvolvida utilizando o framework `Next.js`³ e integrada à *blockchain* por meio das bibliotecas `Viem`⁴ e `Wagmi`⁵. O `Viem` fornece abstrações tipadas para leitura, escrita e estimativa de gás em contratos compatíveis com a `EVM`, enquanto o `Wagmi` adiciona uma camada orientada a `React` para o gerenciamento de estados de conexão, leitura de dados e envio de transações. Essa combinação garante a funcionalidade completa da aplicação, mas sem introduzir mecanismos adicionais de suporte ou simplificação da experiência do usuário, reforçando o caráter experimental de P1.

O *frontend* foi organizado em seis páginas principais, que refletem diretamente as funcionalidades do sistema: conexão da carteira, *dashboard*, depósito, troca, transferência interna e saque. O fluxo inicia-se na página de login, responsável apenas por estabelecer a conexão com a carteira do usuário. Em seguida, o *dashboard* exibe os saldos da carteira e os valores depositados no contrato, além de permitir a solicitação de tokens de teste. As páginas de depósito e saque viabilizam a entrada e retirada de ativos do contrato, sempre mediadas por confirmações diretas na `MetaMask`. A página de troca possibilita a conversão entre tokens com base nas cotações fornecidas pelos oráculos da `Chainlink`⁶, enquanto a página de transferência permite a movimentação interna de ativos entre usuários sem a criação de novas transações on-chain. Essas funcionalidades são apresentadas de forma direta e pouco orientada, mantendo o foco na exposição explícita dos fluxos técnicos e servindo como base de comparação para P2.

5.3 Frontend do protótipo P2

P2 foi desenvolvido manualmente, com base explícita nos princípios de UX discutidos neste trabalho. Diferentemente de P1, gerado de forma neutra pela ferramenta `V0`, esta interface foi concebida com foco na redução da carga cognitiva, no aumento da visibilidade do estado do sistema e na oferta

¹<https://v0.dev>

²<https://metamask.io>

³<https://nextjs.org>

⁴<https://viem.sh>

⁵<https://wagmi.sh>

⁶<https://chain.link>

de *affordances* claras ao longo de todo o fluxo de interação. As decisões de design foram fundamentadas nas heurísticas de Nielsen Nielsen [1994], priorizando simplicidade, consistência, prevenção de erros e comunicação clara das ações executadas pelo sistema.

Um dos principais aprimoramentos introduzidos foi a adoção de *Account Abstraction (AA)* em conjunto com um *paymaster*, permitindo que as taxas de gás fossem abstraídas do usuário e viabilizando um modelo de interação baseado em *smart accounts*. Essa abordagem, implementada por meio da integração com a plataforma *Privy*⁷, possibilita autenticação por e-mail, *login* social e *passkeys*, eliminando a necessidade de interação direta com carteiras tradicionais como a *MetaMask*⁸. Com isso, o usuário deixa de ser exposto a janelas externas de assinatura, detalhes de gás e terminologia técnica da blockchain, fatores amplamente apontados na literatura como responsáveis pelo aumento da carga cognitiva e da taxa de abandono. A remoção da carteira convencional também permitiu a implementação de *handlers* próprios, projetados para comunicar o estado e o resultado das operações de forma direta, contextualizada e alinhada ao modelo mental do usuário.

De forma integrada, todas as funcionalidades centrais do sistema, solicitação de tokens de teste, visualização de saldos, depósitos, transferências, trocas e saques, passaram a ser executadas inteiramente dentro da interface, sem redirecionamentos externos. Cada fluxo foi projetado com validações automáticas, prevenção de erros comuns (como tentativa de operação acima do saldo disponível), feedbacks imediatos e mensagens textuais claras, reduzindo incertezas e aumentando a previsibilidade da interação. Foram introduzidos ícones padronizados para identificação visual de ativos, bloqueios preventivos de ações inválidas e confirmações resumidas que explicam ao usuário o que está sendo executado, reforçando princípios de visibilidade, correspondência com o mundo real e controle do usuário, inclusive para participantes com pouca experiência prévia em ambientes *DeFi*.

Dessa forma, P2 representa uma abordagem intencionalmente projetada para oferecer uma experiência mais intuitiva, consistente e cognitivamente eficiente, contrastando de maneira controlada com P1. Essa diferença permite avaliar de forma precisa o impacto das decisões de design na percepção dos participantes e no desempenho durante a execução das tarefas experimentais.

A Figura 2 ilustra a página inicial de P2, destacando as opções simplificadas de autenticação por e-mail, *Google* e *Passkey*, enquanto a Figura 3 apresenta o *Dashboard*, que centraliza a visualização de saldos e o acesso às funcionalidades do sistema de forma clara e organizada.

6 Análise dos Resultados

Durante o experimento, os participantes interagiram com ambos os protótipos, P1 e P2, conforme o desenho experimental previamente estabelecido. Ao todo, 47 usuários concluíram integralmente o fluxo de interação proposto e respondendo aos instrumentos de avaliação subjetiva ao final da sessão. A média de idade dos participantes foi de 24,6 anos.

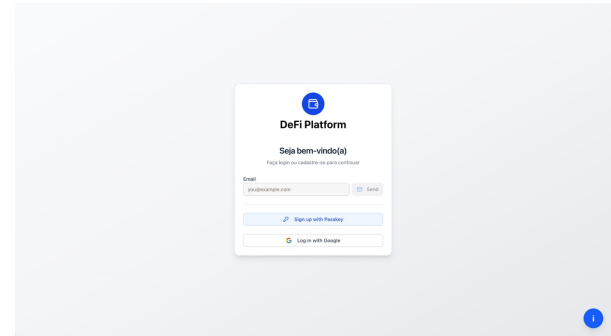


Figura 2. Página de login de P2, oferecendo autenticação simplificada.

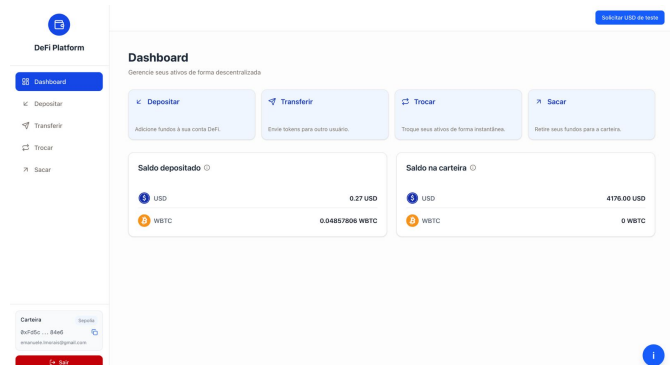


Figura 3. Dashboard de P2, apresentando saldos e navegação simplificada.

Em relação ao nível de familiaridade com tecnologias blockchain, a distribuição dos participantes foi heterogênea:

- 27 indivíduos (57,4 %) se identificaram como iniciantes, relatando pouco ou nenhum contato prévio com aplicações Web3;
- 13 indivíduos (27,7 %) se classificaram como intermediários, afirmando já ter utilizado alguma ferramenta ou plataforma descentralizada;
- 7 indivíduos (14,9 %) foram categorizados como avançados, com experiência contínua ou atuação profissional envolvendo blockchain.

Essa distribuição permitiu observar diferenças significativas entre os grupos, especialmente no que diz respeito à carga cognitiva percebida e à fluência na execução das tarefas.

Para mitigar o viés de aprendizagem, isto é, a possibilidade de os participantes aprenderem o fluxo na primeira interação e terem melhor desempenho na segunda, o experimento utilizou ordem de exposição alternada entre os protótipos. Assim, 24 participantes iniciaram o teste por P1, enquanto 23 participantes começaram por P2. Esse balanceamento garantiu maior confiabilidade à comparação entre as duas condições experimentais.

Durante a condução dos testes, observou-se que diversos usuários, especialmente os classificados como iniciantes, demonstraram dúvidas e insegurança ao lidar com o processo de criação e conexão de uma carteira própria utilizando a extensão *MetaMask*, etapa obrigatória em P1. Esse comportamento corrobora os achados da literatura de UX em Web3, que apontam que a necessidade de gerenciar chaves privadas, interpretar mensagens técnicas e compreender fluxos de assinatura constitui uma barreira significativa para novos usuários. Tais dificuldades impactaram diretamente a percepção de esforço cognitivo relatado ao final do experimento.

⁷<https://www.privy.io>

⁸<https://metamask.io>

6.1 Análise dos Resultados do NASA-TLX

Para a avaliação da carga de trabalho percebida, foi utilizado o NASA Raw TLX, conforme descrito anteriormente, aplicando o instrumento imediatamente após cada interação realizada pelos participantes nos dois protótipos. Dessa forma, cada usuário forneceu um conjunto de respostas para as seis dimensões avaliadas: demanda mental, demanda física, demanda temporal, desempenho, esforço e frustração, permitindo a comparação direta entre P1 e P2.

No questionário original, a métrica de performance segue a escala do NASA-TLX tradicional, em que 0 representa “fracasso” e 100 representa “sucesso total”. Entretanto, para fins de visualização e comparação com as demais dimensões, todas orientadas para que valores mais altos indiquem maior carga de trabalho, foi necessária a inversão da escala de performance. Seja P_{orig} a pontuação de performance original e P_{inv} a pontuação de performance invertida.

A fórmula utilizada para essa conversão foi:

$$P_{inv} = 100 - P_{orig}$$

Essa transformação tornou os valores de performance coerentes com a direção interpretativa das demais dimensões do TLX, permitindo análises comparativas mais intuitivas nos gráficos apresentados.

6.1.1 Médias gerais

Ao analisar as médias gerais do NASA-TLX considerando todos os participantes, independentemente do nível de conhecimento em blockchain, observa-se um padrão consistente: P2 apresentou valores substancialmente menores em todas as dimensões avaliadas. Esse resultado indica uma redução significativa da carga de trabalho percebida na interação, confirmando que as melhorias de design implementadas impactaram positivamente a experiência de uso de forma ampla e transversal a diferentes perfis de usuários.

A demanda mental apresentou a maior diferença absoluta entre os protótipos, refletindo diretamente o efeito das abstrações introduzidas, como o uso de contas inteligentes, feedbacks imediatos e a eliminação da necessidade de manipulação direta da carteira MetaMask. Dimensões como demanda física e temporal também apresentaram reduções expressivas, sugerindo menor esforço na compreensão das etapas e menor tempo necessário para completar as tarefas.

As dimensões mais associadas ao aspecto emocional de esforço e de frustração também revelaram discrepâncias marcantes. Usuários de P1 relataram níveis elevados de tensão, incerteza e necessidade de repetição de comandos, enquanto P2 reduziu drasticamente esses efeitos, tornando a experiência mais fluida e previsível.

Por fim, a métrica de performance invertida, alinhada ao sentido interpretativo das demais dimensões, reforça esse padrão: quanto melhor a usabilidade percebida, menor a carga associada ao sucesso na realização das tarefas. Esses resultados globais consolidam a evidência de que o conjunto de heurísticas de design aplicadas não apenas beneficiou grupos específicos, mas aumentou de forma geral a qualidade da interação, reduzindo barreiras cognitivas e emocionais enfrentadas durante o uso da plataforma. A figura 4 reflete os resultados obtidos.

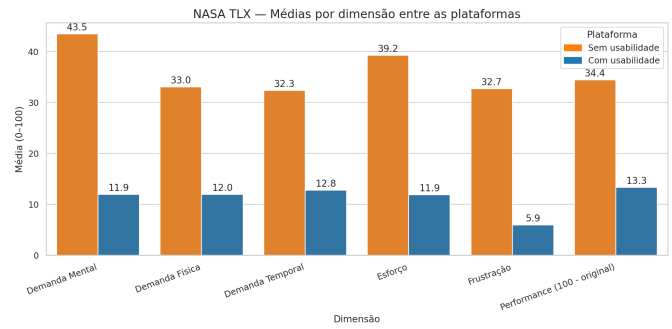


Figura 4. Média geral do NASA-TLX entre P1 e P2

6.1.2 Por Nível de Conhecimento

A avaliação realizada por meio do questionário NASA-TLX permitiu identificar diferenças expressivas na carga cognitiva percebida pelos participantes ao interagir com P1 e P2, considerando separadamente cada nível de familiaridade com tecnologias blockchain. Os resultados demonstram que, independentemente do grau de experiência, P2 promoveu reduções substanciais nas demandas mentais, temporais e emocionais associadas à execução das tarefas propostas. No entanto, a magnitude dessa redução variou significativamente entre os grupos, revelando padrões importantes relativos à influência do conhecimento prévio sobre a experiência de uso.

Desempenho dos participantes iniciantes. Usuários com pouca ou nenhuma familiaridade com aplicações descentralizadas foram os que apresentaram os maiores índices de esforço, frustração e carga mental ao utilizar P1. Esse grupo demonstrou forte sensibilidade à ausência de feedbacks claros, terminologias técnicas e necessidade de operar diretamente com a MetaMask. Já em P2, observou-se uma redução drástica em todas as dimensões avaliadas, evidenciando que esse público depende fortemente de mecanismos de suporte, orientação contextual e abstrações de complexidade para realizar tarefas com segurança.

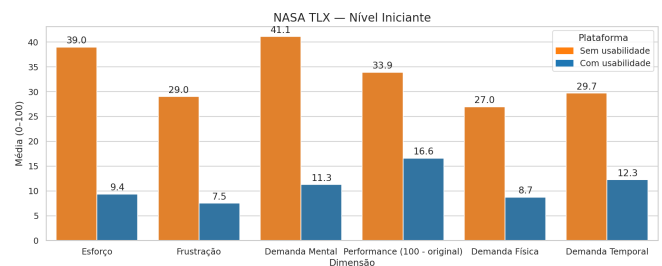


Figura 5. Média do NASA-TLX entre participantes iniciantes

Desempenho dos participantes intermediários. Usuários com algum conhecimento prévio demonstraram menor dificuldade que os iniciantes em P1, mas ainda assim sofreram impacto significativo das limitações de design. As dimensões de demanda mental e esforço permaneceram elevadas, indicando que a simples familiaridade com o domínio não reduz plenamente a carga cognitiva de fluxos Web3 tradicionais. P2, por outro lado, resultou em quedas acentuadas nessas cargas, demonstrando que esse grupo se beneficia de forma clara de interfaces mais orientadas à ação do usuário e menos dependentes de configurações técnicas.

Desempenho dos participantes avançados. Participantes com alta familiaridade, incluindo profissionais que trabalham diariamente com blockchain, apresentaram desempenho re-

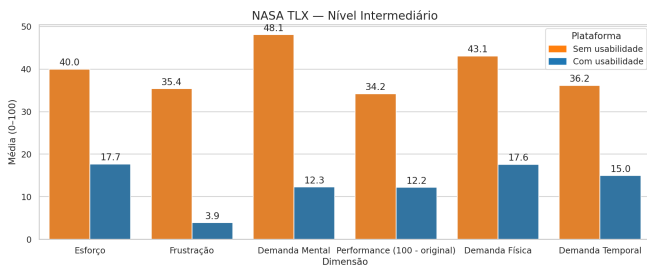


Figura 6. Média do NASA-TLX entre participantes intermediários

lativamente melhor em P1 quando comparados aos demais grupos. Ainda assim, as avaliações mostraram que mesmo usuários experientes enfrentam esforço adicional decorrente da ausência de abstrações, do feedback limitado e da necessidade de interpretar mensagens técnicas. Em P2, esses usuários relataram reduções substanciais na frustração, na carga mental e na pressão temporal, indicando que melhorias de UX beneficiam até mesmo especialistas, aumentando a fluidez e previsibilidade da interação.

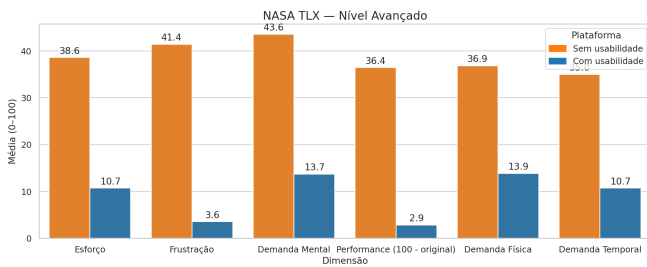


Figura 7. Média do NASA-TLX entre participantes avançados

6.2 Análise dos Resultados de Desempenho e Interação nas Tarefas

Além da avaliação subjetiva da carga de trabalho percebida por meio do NASA-TLX, realizou-se uma análise objetiva do comportamento dos participantes ao utilizar os dois protótipos. Foram examinados o número total de tarefas concluídas, a distribuição dessas tarefas por tipo e a quantidade de cliques necessários para completar as operações. Esses indicadores permitem compreender, sob uma perspectiva quantitativa, como a usabilidade influencia diretamente a eficiência, fluidez e esforço operacional durante a interação.

6.2.1 Tarefas Completas por Plataforma

Foram analisados dados de tarefas completadas pelos 47 participantes que interagiram com ambos os protótipos. Considerando que cada usuário deveria realizar quatro tarefas (Depósito, Saque, Transferência e Troca), o total máximo possível de tarefas a serem concluídas é de 188. A Figura 8 apresenta o total efetivamente concluído em cada protótipo. Observa-se que P2 resultou em 168 tarefas concluídas, enquanto P1 atingiu 143 tarefas. Assim, P2 alcançou 89% do total possível, ao passo que P1 atingiu 76%.

Essa diferença substancial indica que P2 permitiu que os participantes completassem um número significativamente maior de operações, refletindo maior eficiência tanto na interpretação das instruções quanto na execução das etapas. A proximidade entre o desempenho obtido e o limite teórico máximo sugere que P2 reduziu de forma consistente pontos de atrito, incertezas e erros durante a navegação. Em contraste,

P1 comprometeu a conclusão de parte relevante das atividades, evidenciando o impacto direto de problemas de design na capacidade dos usuários de finalizar tarefas essenciais.

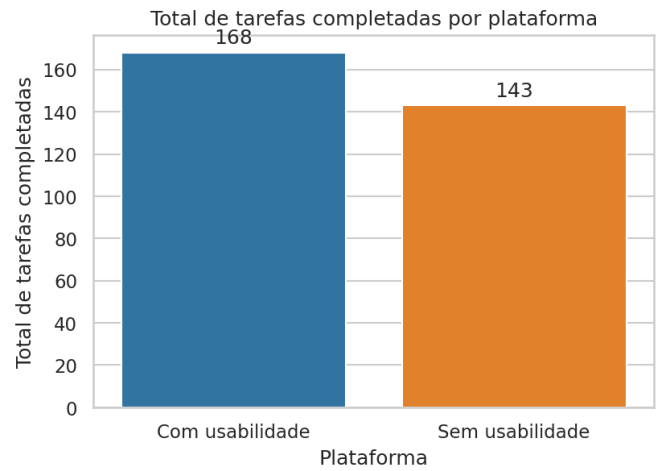


Figura 8. Total de tarefas completadas por protótipo

Já a Figura 9 detalha a quantidade de tarefas realizadas em cada categoria. Como havia 47 participantes no estudo, o total esperado por categoria seria de 47 tarefas. Valores inferiores indicam usuários que não conseguiram concluir determinada ação. Os resultados demonstram um padrão consistente entre todas as categorias: P2 apresentou desempenho superior.

Essas tendências reforçam a hipótese de que a usabilidade impacta não apenas o total geral de tarefas concluídas, mas também a qualidade e fluidez da execução em cada tipo específico de operação. A maior consistência observada em P2 sugere que as melhorias visuais, estruturais e de orientação reduziram a necessidade de tentativas adicionais, minimizaram ambiguidades e tornaram os fluxos mais previsíveis para participantes de todos os níveis de experiência.

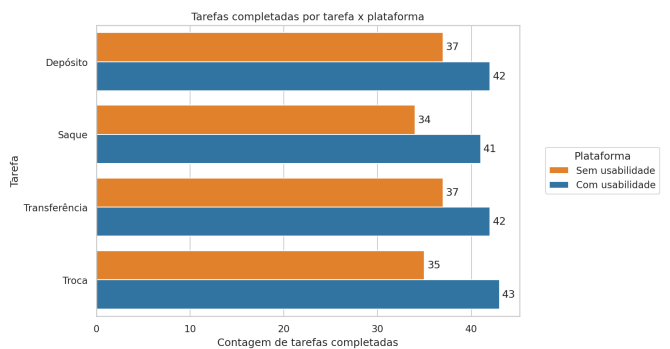


Figura 9. Tarefas completadas por tipo de tarefa em cada protótipo

6.2.2 Cliques Realizados por Plataforma

Para além das tarefas concluídas, a análise dos cliques realizados pelos participantes permite investigar o nível de eficiência operacional e o grau de atrito percebido durante a interação com cada protótipo. Considerando que havia 47 usuários e que cada um deveria realizar quatro tarefas, o número ideal de cliques por protótipo seria 188, assumindo um fluxo linear, sem erros, retrocessos ou repetições. A Figura 10 apresenta o total de cliques registrados em cada protótipo.

Observa-se que **P1** acumulou **221 cliques**, ultrapassando de forma significativa o limite esperado. Em contraste, **P2** registrou **186 cliques**, valor praticamente igual ao ideal teórico, sugerindo que a interface minimizou ruídos no processo e reduziu a ocorrência de ações redundantes ou equivocadas. Essa diferença entre os protótipos reflete de forma clara o impacto das melhorias de design: quanto mais intuitiva a interface, menor a necessidade de navegação exploratória e menor o número de cliques excedentes gerados ao longo das tarefas.

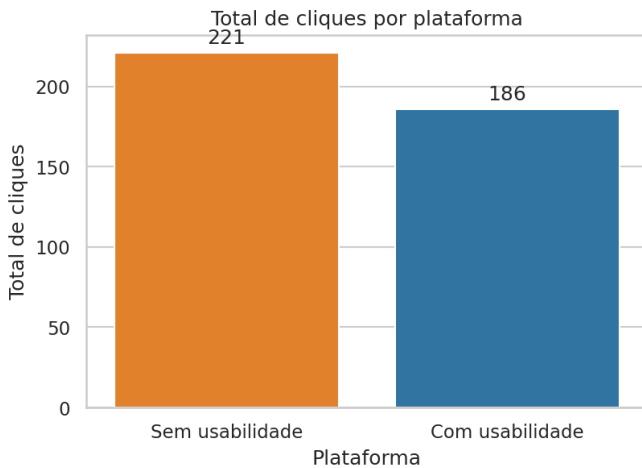


Figura 10. Total de cliques por protótipo

A Figura 11 detalha a distribuição dos cliques por categoria de ação em cada protótipo. Assim como no caso das tarefas concluídas, espera-se que cada participante execute cada ação uma única vez, portanto, o valor ideal para cada categoria seria de **47 cliques**. Valores superiores indicam que usuários precisaram repetir etapas, buscar informações adicionais ou corrigir erros durante o fluxo.

Os resultados revelam novamente que, em todas as categorias, **P1** apresentou um número muito maior de cliques repetidos. **P2**, por outro lado, manteve valores bem mais próximos do limite superior de 47 cliques esperados. Embora ainda existam repetições, estas ocorreram em magnitude consideravelmente menor, o que reforça a hipótese de que a interface aprimorada reduziu ambiguidades, evitou confusões no fluxo e diminuiu a necessidade de cliques exploratórios.

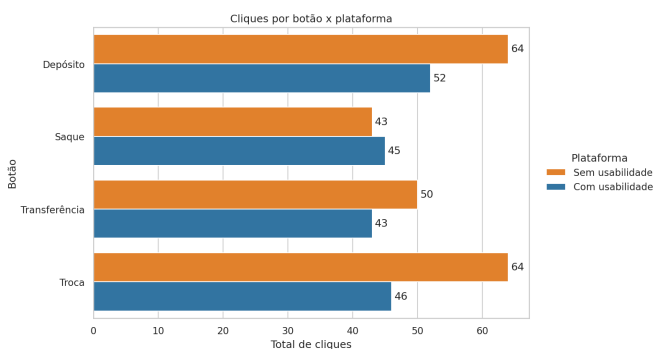


Figura 11. Total de cliques por protótipo

De modo geral, a análise dos cliques complementa e reforça os achados observados nas tarefas concluídas: P2 não

apenas permitiu maior completude das operações, mas também reduziu substancialmente o esforço interacional medido por cliques excedentes. Essa convergência entre indicadores objetivos (cliques) e comportamentais (tarefas concluídas) fortalece a conclusão de que as heurísticas de design implementadas diminuíram o atrito cognitivo e tornaram a experiência dos usuários mais fluida, eficiente e previsível.

7 Conclusão

Os resultados do estudo demonstram que a aplicação de princípios heurísticos de usabilidade em interfaces *DeFi* reduz de maneira consistente o atrito cognitivo e melhora a experiência do usuário. A análise conjunta das métricas objetivas e subjetivas permite retomar as hipóteses formuladas e avaliar seu grau de sustentação empírica.

A **Hipótese 1**, que propunha que P2 aumentaria a satisfação e reduziria a carga cognitiva percebida em relação a P1, foi corroborada. P2 apresentou valores substancialmente menores em todas as seis dimensões do NASA-TLX, com destaque para demanda mental e frustração. Além disso, os cliques registrados em P2 (186) ficaram próximos ao mínimo teórico, enquanto P1 acumulou 221, evidenciando menor esforço operacional e maior previsibilidade da interação.

A **Hipótese 2**, segundo a qual os benefícios de P2 seriam mais pronunciados entre usuários novatos, foi **parcialmente corroborada**. De fato, o grupo de iniciantes apresentou as maiores reduções absolutas de carga cognitiva ao migrar de P1 para P2, confirmando sua maior sensibilidade às melhorias de design. Contudo, os dados revelaram que participantes intermediários e avançados também obtiveram ganhos expressivos em fluidez, frustração e pressão temporal, indicando que os benefícios de usabilidade se estendem a todos os perfis, embora com magnitude variável.

A **Hipótese 3**, que previa que P2 reduziria a taxa de abandono de tarefas, foi igualmente corroborada. P2 alcançou 89% de conclusão de tarefas (168 de 188), frente a 76% em P1 (143 de 188), com desempenho superior em todas as categorias de operação avaliadas.

Em conjunto, as evidências empíricas indicam que a segurança técnica, embora essencial, não é suficiente para promover adoção em larga escala. É necessário que o design de interação esteja alinhado às expectativas e limitações dos usuários. Como implicações práticas, recomenda-se a redução de confirmações e etapas redundantes, a oferta de feedbacks imediatos e compreensíveis, a normalização de unidades e a manutenção de consistência entre termos e fluxos. Sugere-se também a adoção de mecanismos de abstração de carteiras, permitindo um processo de autenticação mais próximo do que já é amplamente compreendido em ambientes *Web2*, como *login por e-mail* ou *passkey*. A inclusão de *handlers* personalizados, capazes de apresentar informações de maneira simplificada e contextualizada, pode ainda reduzir dúvidas recorrentes e melhorar a fluidez da interação.

Como limitações ao estudo, destacam-se algumas delimitações metodológicas adotadas de forma intencional. A utilização de carteiras previamente configuradas teve como objetivo isolar os efeitos das decisões de design de interface durante a execução das tarefas, minimizando a influência de etapas iniciais não diretamente relacionadas aos fluxos avali-

ados. De modo semelhante, a opção por redes compatíveis com a *Ethereum Virtual Machine (EVM)* reflete o foco nos ecossistemas *DeFi* mais amplamente utilizados, favorecendo a relevância prática dos resultados. Adicionalmente, a não inclusão de *hardware wallets* contribuiu para preservar a consistência dos fluxos de interação analisados, permitindo uma comparação mais controlada entre as versões do sistema. Essas delimitações não comprometem a validade interna do estudo, mas indicam possibilidades de ampliação do escopo em investigações futuras.

Pesquisas futuras podem ampliar o escopo para diferentes perfis de experiência e para cenários com maior complexidade operacional, como operações com múltiplas etapas, autorizações e empréstimos. Também é possível investigar métricas adicionais de desempenho e de confiança percebida ao longo do tempo. Esses caminhos podem acelerar a maturidade das interfaces *DeFi* e torná-las mais acessíveis, eficientes e confiáveis para um público cada vez mais diversificado.

Contribuições dos autores

Emanuele Lacerda Morais Martins, Henrique Marlon Conceição Santos e Bryan Kano Ferreira contribuíram para a concepção do estudo, implementação, experimentos e redação do manuscrito. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Conflitos de interesse

Os autores declaram que não têm nenhum conflito de interesses.

Disponibilidade de dados e materiais

Os conjuntos de dados (e/ou softwares) gerados e/ou analisados durante o estudo atual serão feitos mediante solicitação.

Referências

- Albayati, H., Kim, S. K., and Rho, J. J. (2021). A study on the use of cryptocurrency wallets from a user experience perspective. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 3(5):720–738. DOI: <https://doi.org/10.1002/hbe2.313>.
- Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies*. O'Reilly Media.
- Antonopoulos, A. M. and Wood, G. (2018). *Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps*. O'Reilly Media.
- ASSILA, A., Oliveira, K., and Ezzedine, H. (2016). Integration of subjective and objective usability evaluation based on iso/iec 15939: A case study for traffic supervision systems. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32. DOI: 10.1080/10447318.2016.1220068.
- Back, A. (2002). Hashcash - a denial of service countermeasure. In *Technical Report*. Acesso em: 9 out. 2025.
- Bashir, I. (2018). *Mastering Blockchain: Distributed ledger technology, decentralization, and smart contracts explained*. Packt Publishing, 2nd edition.
- Bastien, J. M. C. (2010). Usability testing: a review of some methodological and technical aspects of the method. *International Journal of Medical Informatics*, 79(4):e18–e23. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2008.12.004.
- Buterin, V. (2014). Ethereum: A next-generation smart contract and decentralized application platform. <https://ethereum.org/en/whitepaper/>.
- Byers, J. C., Bittner, A. C., and Hill, S. G. (1989). Traditional and raw task load index (tlx) correlations: Are paired comparisons necessary? In *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, volume 1, pages 481–485. Taylor & Francis. Accessed: 18 Oct 2025.
- Dai, W. (1998). b-money. <http://www.weidai.com/bmoney.txt>. Acesso em: 9 out. 2025.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*.
- Foster, M. E., Giuliani, M., and Knoll, A. (2009). Comparing objective and subjective measures of usability in a human-robot dialogue system. In *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP*, pages 879–887, Suntec, Singapore. Association for Computational Linguistics.
- Froehlich, M., Wagenhaus, M. R., Schmidt, A., and Alt, F. (2021). Don't stop me now! exploring challenges of first-time cryptocurrency users. In *Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference*, page 138–148, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. DOI: 10.1145/3461778.3462071.
- Glomann, L., Schmid, M., and Kitajewa, N. (2019). Improving the blockchain user experience - an approach to address blockchain mass adoption issues from a human-centred perspective. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*.
- Glomann, L., Schmid, M., and Kitajewa, N. (2020). Improving the blockchain user experience – an approach to address blockchain mass adoption issues from a human-centred perspective. In *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering*, volume 965 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 608–616, Cham. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-20454-9_60.
- Gogel, D., Deshmukh, S., Geest, A., Resas, D., Sillaber, C., and Werbach, K. (2021). Defi beyond the hype: The emerging world of decentralized finance.
- Grier, R. A. (2015). How high is high? a meta-analysis of nasa-tlx global workload scores. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 59, pages 1727–1731. SAGE Publications. Accessed: 18 Oct 2025.
- Group, N. N. (2023). Usability (user) testing 101. Acessado em: 26 set. 2025.
- Hart, S. G. (2006). Nasa-task load index (nasa-tlx); 20 years later. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 50, pages 904–908. SAGE Publications. Accessed: 18 Oct 2025.
- Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988). Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in Psychology*, volume 52, pages 139–183. Elsevier. Accessed: 18 Oct 2025.
- Hewett, T. T., Baecker, R., Card, S., Carey, T., Gasen, J., Mantel, M., Perlman, G., Strong, G., and Verplank, W. (1992). Acm sigchi curricula for human-computer interaction. Technical report, Association for Computing Machinery.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.
- ISO (2018). *Ergonomics of human-system interaction – Part*

- 11: *Usability: Definitions and concepts*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, iso 9241-11:2018(e) edition.
- Jang, H. and Han, S. H. (2022). User experience framework for understanding user experience in blockchain services. *International Journal of Human-Computer Studies*, 158:102733. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2021.102733.
- Jang, H., Han, S.-H., and Kim, J. H. (2020). User perspectives on blockchain technology: User-centered evaluation and design strategies for dapps. *IEEE Access*, 8:226213–226223.
- McGrenere, J. and Ho, W. (2000). Affordances: Clarifying and evolving a concept. In *Proceedings of the Graphics Interface Conference*.
- Moniruzzaman, M., Chowdhury, F., and Ferdous, M. S. (2020). Examining usability issues in blockchain-based cryptocurrency wallets. In Bhuiyan, T., Rahman, M. M., and Ali, M. A., editors, *Cyber Security and Computer Science. ICONCS 2020*, volume 325 of *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 637–653. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-52856-0_50.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 9 out. 2025.
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- Nielsen, J. and Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *International Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things*. Basic Books, revised and expanded edition edition.
- Preece, J., Rogers, Y., and Sharp, H. (2002). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley, New York, NY, 1st edition.
- Rubin, J. and Chisnell, D. (2008). *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, IN, 2 edition.
- Saldivar, J., Martínez-Vicente, E., Rozas, D., Valiente, M.-C., and Hassan, S. (2023). Blockchain (not) for everyone: Design challenges of blockchain-based applications. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. DOI: 10.1145/3544549.3585825.
- Saltzer, J. H. and Schroeder, M. D. (1975). The protection of information in computer systems. *Proceedings of the IEEE*.
- Shneiderman, B. and Plaisant, C. (2004). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Pearson/Addison Wesley, Boston, 4 edition.
- Si, J. J., Sharma, T., and Wang, K. Y. (2024). Understanding user-perceived security risks and mitigation strategies in the web3 ecosystem. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. DOI: 10.1145/3613904.3642291.
- Tullis, T. and Albert, B. (2008). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Morgan Kaufmann.
- Voskobojnikov, A., Wiese, O., Koushki, M. M., Roth, V., and Beznosov, K. (2021a). The u in crypto stands for usable: An empirical study of user experience with mobile cryptocurrency wallets. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Voskobojnikov, A., Wiese, O., Mehrabi Koushki, M., Roth, V., and Beznosov, K. (2021b). The u in crypto stands for usable: An empirical study of user experience with mobile cryptocurrency wallets. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, pages 1–14, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. DOI: 10.1145/3411764.3445407.
- Whitten, A. and Tygar, J. D. (1999). Why johnny can't encrypt: A usability evaluation of pgp 5.0. In *Proceedings of the 8th USENIX Security Symposium*.