



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENG. DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E COMPUTAÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Andrei Fernando Erhardt

Inovação na Interface Físico-Digital: Uma Análise da Aplicação de Phygital e Blockchain para Automação e Experiência do Consumidor aplicado ao caso da BeerTap

Blumenau

2025

Andrei Fernando Erhardt

Inovação na Interface Físico-Digital: Uma Análise da Aplicação de Phygital e Blockchain para Automação e Experiência do Consumidor aplicado ao caso da BeerTap

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Julia Dal Forno

Blumenau

2025

Erhardt, Andrei Fernando

Inovação na Interface Físico-Digital: Uma Análise da Aplicação de Phygital e Blockchain para Automação e Experiência do Consumidor aplicado ao caso da BeerTap / Andrei Fernando Erhardt ; orientadora, Ana Julia Dal Forno, 2025.

77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Blumenau, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Phygital. 3. Pesquisa-ação. 4. Blockchain. 5. Experiências imersivas. I. Dal Forno, Ana Julia . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

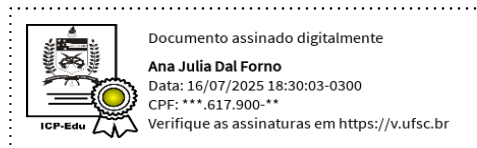
Andrei Fernando Erhardt

Inovação na Interface Físico-Digital: Uma Análise da Aplicação de Phygital e Blockchain para Automação e Experiência do Consumidor aplicado ao caso da BeerTap

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

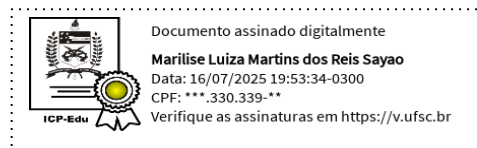
Blumenau/SC, 24 de junho de 2025

Banca examinadora



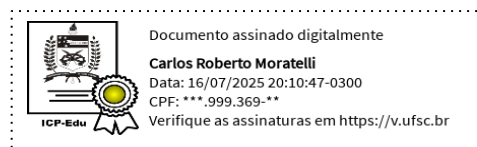
Profa. Dra. Ana Julia Dal Forno

Orientadora



Profa. Dra. Marilise Luiza Martins dos Reis Sayão

Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico, de ciências Exatas e Educação



Prof. Dr. Carlos Roberto Moratelli

Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico, de ciências Exatas e Educação

Dedico este trabalho a minha mãe, Celita Rigon Erhardt por todo seu esforço em me apoiar durante a graduação e acreditar em mim quando nem mesmo eu acreditei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a instituição da Universidade Federal de Santa Catarina. A minha orientadora Ana Julia Dal Forno por me orientar durante todo o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço a minha mentora durante boa parte do curso, Marilise Luiza Martins dos Reis Sayão, por me ensinar que ser um engenheiro é muito mais do que resolver integrais e equações diferenciais.

Agradeço ao Edital FAPESC 39/2021 – Programa de Apoio ao Empreendedorismo Universitário Inovador no Estado de Santa Catarina – Projeto “Ideação – Ideias Universitárias Inovadoras” por todo auxílio durante minha trajetória acadêmica e início da trajetória empreendedora.

Agradeço também aos meus roommates Guilherme Takashiba por me ensinar que não vale perder uma amizade por um rabo de saia, Eduardo Klein por me ensinar sobre lealdade, Lucas Grutzmacher por me ensinar sobre dividir e compartilhar mesmo quando há pouco para tal, Matheus Hemkemaier a ser um bom ouvinte e por me ensinar que a melhor companhia é a minha própria, Rafael Benildo Mafra por me ensinar que por mais que as coisas deem errado (mesmo que seja você a fazê-las darem errado) sempre haverá oportunidades para quem persevera e Eduardo D'avila por me ensinar a ser um amigo de qualidade para os que estiverem precisando. Agradeço pelo que todos os meus roommates juntos me ensinaram sobre convivência, sobre dividir e crescer juntos, sobre como vagabundos tem sorte, sobre ser você mesmo, sobre cultivo alternativo de espécies arbóreas, sobre culinária e o mais importante, sobre amizade. Por estarem ao meu lado durante as boas e más fases do período de graduação.

Agradeço a Samuel Meurer por, dentre tantas pessoas, me escolher como sócio da startup Infinity Web3.

Também, a todos os amigos que fiz em Florianópolis por me mostrarem a melhor cidade do Brasil. Agradeço aos senhores Frodo Baggins, Gandalf, Aragorn, Bilbo Baggins, Samwise Gamgee, Elrond, Radagast, Tom Bombadil, Legolas, Boromir, Gollum, Galadriel, Smaug, Sauron, Alexander Supertramp e Forest Gump por fazerem parte dos meus filmes favoritos durante toda minha jornada acadêmica.

É um negócio perigoso esse de sair pela sua porta. Você pisa na estrada e se não controlar os seus pés, nunca se sabe para onde será levado.

RESUMO

O presente trabalho investigou o impacto da integração entre as tecnologias Phygital e *blockchain* em processos industriais, comerciais e de consumo, utilizando como estudo de caso a startup Infinity Web3 e, em especial, o desenvolvimento da BeerTap, uma chopeira automatizada conectada à *blockchain*. O objetivo foi compreender como essas tecnologias podem transformar setores ao unir o mundo físico e digital, promovendo rastreabilidade, segurança, automação e experiências imersivas. A metodologia adotou revisão de literatura e pesquisa-ação, permitindo a aplicação prática das soluções desenvolvidas, alinhadas à realidade de uma startup brasileira de base tecnológica. Foram identificadas barreiras como custos iniciais, resistência cultural e falta de padronização. A análise demonstrou que a implementação da tecnologia reduziu o tempo médio para validar um produto na *blockchain*, aumentando a eficiência operacional, a automação de processos e a confiabilidade na rastreabilidade. No setor cervejeiro, a BeerTap aplicou *blockchain*, sensores e QR codes para otimizar a experiência do consumidor, automatizar o serviço de chope e garantir maior transparência no processo de venda e consumo, configurando um diferencial em relação às chopeiras tradicionais. Os resultados evidenciam o potencial transformador da integração Phygital-*blockchain* na personalização da experiência do usuário por meio de NFTs e na redução do tempo médio para validar ativos digitais. Apesar dos desafios, estratégias como interoperabilidade tecnológica, educação de mercado e certificações digitais foram destacadas como formas de mitigar dificuldades, especialmente em um cenário como o brasileiro, que começa a discutir tecnologias como o Drex. Conclui-se que a integração entre Phygital e *blockchain* oferece caminhos viáveis para inovação, com impactos mensuráveis na eficiência, adoção e confiabilidade dos processos, reforçando sua relevância para a Engenharia de Controle e Automação.

Palavras-chave: Phygital; *Blockchain*; Experiências imersivas; Rastreamento digital; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study investigated the impact of integrating Phygital and *blockchain* technologies into industrial, commercial, and consumer processes, using the startup Infinity Web3 as a case study. The objective was to understand how these technologies can transform sectors by merging the physical and digital worlds, promoting traceability, security, and immersive experiences. The methodology adopted included a literature review and action research, identifying barriers such as initial costs, cultural resistance, and lack of standardization. The analysis showed that implementing this technology reduced the average time required to validate a product on the *blockchain*, increasing operational efficiency and security in traceability. Furthermore, the technology adoption rate grew significantly, demonstrating market interest in Phygital-*blockchain* solutions. In the brewing sector, for instance, BeerTap applied *blockchain* and QR codes to optimize the consumer experience, ensuring greater transparency in sales and consumption processes. The results highlight the potential for transforming user experience personalization through NFTs and real-time monitoring. Despite the challenges, strategies such as technological interoperability, market education, and digital certifications were identified as key factors in overcoming obstacles. It is concluded that Phygital-*blockchain* integration offers viable pathways for innovation, with measurable impacts on efficiency, adoption, and process reliability.

Keywords: Phygital; *Blockchain*; Immersive experiences; Digital traceability; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo PRISMA para revisão de literatura	24
Figura 2 - Ciclo da Pesquisa-Ação	28
Figura 3 - Estrutura conceitual da integração entre Phygital, Blockchain e UX.Fonte: O autor/.	30
Figura 4 – Estratégia de desenvolvimento. Fonte: Fischer, Müller e Schmidt (2023).	31
Figura 5 - Ciclo PDCA.....	40
Figura 6 – O trilema da escalabilidade da Blockchain. Fonte: Davies et al. (2024)...	43
Figura 7 - Primeiro mecanismo phygital desenvolvido pela Infinity Web3. Fonte: Meurer e Fúrio (2023)	53
Figura 8 - Etapa inicial da Infinity Web3 até a reestruturação do time	54
Figura 9 - Sócios Infinity Web3 (Andrei, Samuel e Marcos) durante o WebSummit Rio - Fonte: O autor	56
Figura 10 - Stand de apresentação Infinity Web3 no WebSummitRio - Fonte: O autor	57
Figura 11 - Primeira proposta comercial da BeetTap durante o Hackathon Cartesi - Fonte: O autor	58
Figura 12 - Problema levantado durante o Hackathon Cartesi - Fonte: O autor	60
Figura 13 - Desafio de projeto e solução proposta pela Infinity Web3 para o Hackathon Cartesi - Fonte: O autor.....	62
Figura 14 - Fluxogramas de registro e acionamento da BeerTap. Fonte: O autor. ...	64
Figura 15 - Gráfico do resultado do questionário da BeerTap - Hacktown. Fonte: O autor	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metodologia para cada objetivo	22
Tabela 2 - Referencial teórico selecionado	25
Tabela 3 - Descrição das etapas da metodologia Pesquisa-Ação	27
Tabela 4 - Descrição das aplicações, conceitos e vantagens da tecnologia <i>Phygital</i>	37
Tabela 5 - Comparação entre metodologia PDCA e Pesquisa-Ação	40
Tabela 6 - Ciclo metodológico da pesquisa-ação aplicada à solução BeerTap	61
Tabela 7 - Resultados do questionário com usuários durante o evento HackTown ..	68
Tabela 8 - Diretrizes para replicabilidade	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2	PERGUNTAS DE PESQUISA.....	18
1.3	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO.....	19
1.4	ORIGINALIDADE/VALOR.....	19
1.5	LIMITAÇÕES DE PESQUISA/IMPLICAÇÕES.....	20
1.6	IMPLICAÇÕES PRÁTICAS – (CONTRIBUIÇÕES PARA A EMPRESA E GERENTES) E IMPLICAÇÕES SOCIAIS/ ACADÊMICAS – (EVOLUÇÃO DO TEMA).....	20
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2	METODOLOGIA.....	22
2.1	RESULTADOS DA BUSCA	23
2.2	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO.....	23
2.3	ARTIGOS ANALISADOS	25
2.4	PESQUISA-AÇÃO	26
2.4.1	ETAPAS DO CICLO DE PESQUISA-AÇÃO.....	27
3	REFERENCIAL TEÓRICO	29
3.1	DEFINIÇÃO, BARREIRAS E APLICAÇÕES DO PHYGITAL.....	30
3.2	APLICAÇÕES DO PHYGITAL EM EMPRESAS FAMOSAS	34
3.3	BLOCKCHAIN.....	37
3.4	UMA ANALOGIA: O CICLO PDCA COMO PARALELO DIDÁTICO	39
3.5	BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO ENTRE PHYGITAL E BLOCKCHAIN ...	41
3.6	EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO (UX).....	44
3.7	HACKATHON.....	46
3.8	WEB3.....	47
3.9	STARTUPS E AMBIENTES DE INOVAÇÃO	48
3.10	INOVAÇÃO	48
3.11	VALIDAÇÃO DE TOKENS EM UMA BLOCKCHAIN	49
4	CONTEXTO E APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS NA INFINITY WEB3 (APLICAÇÃO PRÁTICA – PESQUISA-AÇÃO NA STARTUP INFINITY WEB)	51
4.1	FUNDAÇÃO E EVOLUÇÃO DA INFINITY WEB3.....	52
4.2	O PROJETO	57
4.2.1	SURGIMENTO DA BEERTAP.....	59

4.2.2	SOLUÇÃO PROPOSTA	61
4.2.3	FASE PRÁTICA.....	64
4.2.4	DIFERENCIAL COMERCIAL	66
4.2.5	ENTREGA DO PROJETO	67
4.2.6	LEVANTAMENTO ANALÍTICO E MODIFICAÇÕES.....	69
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS E IMPACTOS DA INTEGRAÇÃO PHYGITAL COM BLOCKCHAIN	72
6	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias digitais tem transformado de forma acelerada a relação entre o mundo físico e o digital, promovendo o surgimento de conceitos inovadores como o *Phygital*. Este termo, que resulta da fusão de "*physical*" (físico) e "digital", descreve a integração entre esses dois universos para criar experiências imersivas, interativas e conectadas. A tecnologia *Phygital* está redefinindo modelos de negócios, experiências do consumidor e processos industriais, permitindo uma convergência sem precedentes entre o tangível e o intangível.

Neste cenário de transformação digital impulsionada pela Indústria 4.0, a *blockchain* se destaca como uma das tecnologias que contribuem para a modernização dos processos produtivos e de consumo. Ao lado de recursos como Internet das Coisas (IoT), Big Data, computação em nuvem, impressão 3D e cibersegurança, a *blockchain* oferece segurança, rastreabilidade e descentralização em transações digitais. Seu uso em aplicações *Phygital* — especialmente por meio de contratos inteligentes e NFTs (tokens não fungíveis) — permite validar interações e garantir a autenticidade de ativos digitais e físicos (Davies et al., 2023). Essa integração tecnológica tem ampliado possibilidades em setores como logística, varejo e manufatura, viabilizando modelos de negócios mais conectados, transparentes e personalizados (Laptev; Shaytan, 2023).

A evolução do *Phygital* não é um fenômeno exclusivamente tecnológico, mas também cultural e social. Os consumidores buscam experiências mais fluidas e personalizadas, integrando o melhor dos mundos físico e digital em suas jornadas de compra. Essa transformação tem impactado significativamente indústrias como o varejo de luxo, onde marcas como Burberry e Hugo Boss utilizam tecnologias *Phygital* para proporcionar experiências imersivas e fortalecer o engajamento com seus clientes (Pangarkar; Arora; Shukla, 2022). As aplicações de realidade aumentada, espelhos inteligentes e plataformas digitais em ambientes físicos demonstram como o *Phygital* pode agregar valor tanto para empresas quanto para consumidores.

Apesar das vantagens claras, a adoção de soluções *Phygital* integradas à *blockchain* enfrenta desafios significativos. Entre eles, destacam-se a complexidade técnica, os altos custos de implementação e a resistência à inovação

por parte de empresas e consumidores. A falta de padronização e interoperabilidade também limita o impacto dessas tecnologias, exigindo soluções colaborativas e práticas de inovação aberta para superar essas barreiras (Mikheev et al., 2023). Além disso, durante a pandemia de COVID-19, observou-se a importância da resiliência de marcas *Phygital* que souberam integrar canais físicos e digitais para manter a competitividade em um ambiente de crise (Katsumata; Nishimoto; Kannan, 2024).

Um aspecto importante da integração *Phygital* é sua capacidade de transformar cadeias de suprimentos. Tecnologias como os NFTs têm sido utilizadas para garantir a autenticidade e rastreabilidade de produtos, especialmente em mercados como o de moda e arte digital. Essas soluções não apenas aumentam a transparência, mas também combatem práticas como a falsificação, promovendo uma economia mais sustentável e responsável (DAVIES et al., 2023). Ademais, a combinação de *blockchain* com IoT e big data permite que empresas monitorem de forma mais eficiente os fluxos de materiais, otimizando processos e reduzindo custos operacionais (Laptev; Shaytan, 2023).

Neste cenário, a startup Infinity Web3 emerge como um exemplo pioneiro, em Blumenau, na aplicação dessas tecnologias. A empresa desenvolve soluções que conectam o mundo físico ao digital por meio da *blockchain*, oferecendo rastreabilidade, segurança e interoperabilidade em processos empresariais. Casos de uso como chopeiras automáticas e sistemas de controle de acesso exemplificam como a Infinity Web3 alavanca contratos inteligentes para criar experiências únicas e disruptivas no mercado (Banik; Gao, 2023). Esses casos demonstram não apenas a viabilidade técnica dessas soluções, mas também seu potencial para transformar a relação entre empresas e consumidores.

Por fim, a relevância da tecnologia *Phygital* integrada à *blockchain* transcende os desafios atuais, oferecendo uma visão de futuro para diferentes setores da economia. De acordo com a PricewaterhouseCoopers (PwC), uma das quatro maiores empresas de auditoria e consultoria do mundo, também conhecidas como "Big Four", junto com Deloitte, EY (Ernst & Young, 2025) e KPMG, tecnologias emergentes como realidade aumentada, metaverso e *blockchain* poderão adicionar até US\$ 1,5 trilhão ao PIB global até 2030, sendo que a realidade aumentada e virtual, sozinhas, devem movimentar mais de US\$ 500 bilhões até 2025. No

contexto brasileiro, um relatório da Deloitte (2023) observa que "a internet imersiva está se tornando uma prioridade estratégica", à medida que organizações integram tecnologias como realidade aumentada, *blockchain* e metaverso para criar jornadas de usuário mais engajantes e fluidas, impulsionando a adoção de soluções Web3 em áreas como varejo, entretenimento e serviços. Essa tendência é reforçada pela ascensão da Web 3.0, que redefine a forma como interações e ativos digitais são autenticados, transferidos e utilizados, especialmente com o suporte de *blockchains* e NFTs.

Contudo, a implementação bem-sucedida dessas soluções depende de estratégias que equilibrem inovação tecnológica e aceitação de mercado. Portanto, este trabalho tem como objetivo principal analisar o impacto da tecnologia *Phygital* integrada à *blockchain* na melhoria de processos operacionais em diferentes setores, com foco na Infinity Web3 como estudo de caso. Serão exploradas as vantagens competitivas dessa integração, bem como os desafios e oportunidades associados à sua adoção. Ao abordar esses aspectos, espera-se contribuir para uma compreensão mais abrangente do potencial transformador do *Phygital* no cenário contemporâneo, oferecendo insights valiosos para empresas e pesquisadores interessados em explorar essa fronteira tecnológica.

Portanto, este trabalho tem como objetivo principal analisar o impacto da tecnologia *Phygital* integrada à *blockchain* na melhoria de processos operacionais em diferentes setores, com foco na Infinity Web3 como estudo de caso. Serão exploradas as vantagens competitivas dessa integração, bem como os desafios e oportunidades associados à sua adoção. Ao abordar esses aspectos, espera-se contribuir para uma compreensão mais abrangente do potencial transformador do *Phygital* no cenário contemporâneo, oferecendo insights valiosos para empresas e pesquisadores interessados em explorar essa fronteira tecnológica.

Este trabalho também reflete a trajetória pessoal do autor como estudante de Engenharia de Controle e Automação na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico, de ciências Exatas e Educação Blumenau. Ao longo da graduação, a busca por projetos que unissem inovação tecnológica, aplicação prática e impacto real no cotidiano levou à cofundação da startup Infinity Web3, ambiente no qual foi possível aplicar diretamente os conhecimentos adquiridos no curso. A escolha da BeerTap como objeto de estudo materializa essa

convergência entre teoria e prática: um sistema automatizado de fornecimento de chope que utiliza conceitos fundamentais da engenharia, como controle de processos, sensores e atuadores, integrados a tecnologias emergentes como *blockchain* e IoT. Assim, este trabalho não apenas investiga a viabilidade técnica de uma solução *Phygital*, mas também representa a síntese de uma formação acadêmica voltada à inovação, ao empreendedorismo e à transformação digital de processos reais.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A integração entre as tecnologias *Phygital* e *blockchain* é reconhecida por seu potencial de transformar processos operacionais em diversos setores, como logística, varejo e manufatura. No entanto, sua adoção em larga escala enfrenta barreiras significativas que comprometem sua implementação e limitação em cenários práticos. Um dos principais desafios está relacionado à complexidade técnica de integrar sistemas físicos e digitais de maneira eficiente, sem comprometer a segurança, a confiabilidade e a experiência do usuário final. Além disso, os altos custos de desenvolvimento, manutenção e atualização das soluções tecnológicas representam um obstáculo significativo para empresas que buscam implementar essas inovações (Mikheev et al., 2023).

Outro desafio crítico é a falta de padronização e regulamentação global. Sem diretrizes e frameworks claros, as soluções *Phygital* integradas à *blockchain* são frequentemente desenvolvidas de forma fragmentada, dificultando sua escalabilidade e a interoperabilidade entre diferentes plataformas e setores (Del Vecchio; Secundo; Garzoni, 2022). Essa fragmentação também gera incertezas entre *stakeholders*, que muitas vezes desconhecem os benefícios concretos da tecnologia ou enfrentam dificuldades em compreendê-la completamente. Ademais, as empresas que buscam integrar *blockchain* a soluções *Phygital* frequentemente lidam com limitações tecnológicas relacionadas à capacidade de sincronizar sistemas legados com ferramentas digitais de ponta.

A rastreabilidade e a autenticidade são aspectos centrais das aplicações práticas da tecnologia *Phygital* com *blockchain*. Tecnologias como NFTs e contratos inteligentes podem garantir a transparência e a segurança de cadeias de suprimentos, oferecendo benefícios como o combate à falsificação e a melhoria da

confiança do consumidor (Davies et al., 2023). No entanto, o uso efetivo dessas tecnologias é dificultado por desafios técnicos, como a integração de dispositivos IoT e a gestão de grandes volumes de dados em tempo real. Além disso, a resistência cultural de empresas que preferem modelos tradicionais e a falta de capacitação dos profissionais envolvidos são entraves importantes. Os desafios econômicos também são relevantes, especialmente para pequenas e médias empresas (PMEs). Essas empresas frequentemente enfrentam dificuldades em justificar o investimento inicial em soluções *Phygital* com *blockchain*, mesmo quando o retorno a longo prazo é promissor. Estudos apontam que, embora essas tecnologias possam reduzir custos operacionais e melhorar a eficiência, os custos iniciais de aquisição, treinamento e adaptação são considerados proibitivos (Banik; Gao, 2023). Essa barreira é agravada pela falta de incentivos governamentais ou programas de apoio que possam facilitar a transição tecnológica. A resistência à inovação também é amplificada pela percepção de complexidade das soluções *Phygital* com *blockchain*. Muitas empresas e consumidores ainda vêem essas tecnologias como abstratas ou irrelevantes para suas necessidades diárias (Masera, 2024). Essa percepção dificulta a aceitação e exige esforços adicionais de educação e sensibilização do mercado. É necessário, portanto, desenvolver estratégias que unam inovação tecnológica a um modelo de comunicação claro e eficaz, capaz de demonstrar o valor agregado de tais soluções.

Finalmente, a falta de integração com tecnologias complementares, como realidade aumentada (AR), big data e inteligência artificial (IA), limita a expansão e o impacto do *Phygital*. Essas ferramentas podem potencializar as aplicações da *blockchain* ao enriquecer experiências e fornecer insights avançados para a tomada de decisões. A exploração dessas interações tecnológicas é um dos objetivos deste trabalho, que busca entender como superar os desafios atuais para possibilitar uma adoção mais ampla e eficaz dessas inovações.

1.2 PERGUNTAS DE PESQUISA

Com base nos desafios apresentados e no potencial transformador das tecnologias *Phygital* e *blockchain*, a pesquisa foi estruturada para responder a perguntas-chave que abrangem desde a compreensão conceitual até aplicações práticas e desafios de implementação. O objetivo é aprofundar a análise sobre

como essas tecnologias podem ser integradas e aplicadas para resolver problemas específicos nos setores econômicos e sociais. As perguntas de pesquisa guiam a investigação, explorando dimensões técnicas, econômicas e culturais para fornecer respostas que possam embasar decisões estratégicas no uso dessas inovações.

1. Qual é o conceito central da tecnologia *Phygital*, e como ela se diferencia de outras abordagens tecnológicas?
2. Quais são as aplicações mais promissoras do *Phygital* nos setores econômicos, e como essas aplicações podem ser escaladas para gerar maior impacto?
3. Como a integração da *blockchain* ao *Phygital* pode aprimorar processos de rastreabilidade, segurança e transparência em operações comerciais e industriais?
4. Quais são as principais barreiras técnicas, econômicas e sociais enfrentadas pelas empresas ao implementar soluções *Phygital* com *blockchain*, e como essas barreiras podem ser superadas?

1.3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO

Esse trabalho teve como objetivo geral investigar os benefícios da integração entre a tecnologia *Phygital* e a *blockchain* em aplicações da Web 3.0 numa startup.

Para isso, os objetivos específicos se desdobraram em:

- a) Conceituar a tecnologia *Phygital*;
- b) Identificar as principais aplicações, vantagens e barreiras da tecnologia *Phygital* em diferentes setores econômicos;
- c) Analisar os benefícios da integração entre *Phygital* e *blockchain*;
- d) Implementar as tecnologias *phygital* e *blockchain* numa startup e como a empresa utiliza o ciclo de pesquisa-ação para aprimorar o produto.

1.4 ORIGINALIDADE/VALOR

A originalidade deste trabalho reside na aplicação prática da tecnologia *Phygital* integrada à *blockchain* dentro de uma startup em estágio inicial, utilizando como estudo de caso a Infinity Web3. Diferente da maioria das abordagens teóricas sobre *blockchain* ou experiências digitais, esta pesquisa propõe e analisa a

construção de uma solução real, funcional e testada com usuários em ambientes públicos. A BeerTap representa uma inovação não apenas tecnológica, mas também metodológica, ao unir o conceito de identidade digital descentralizada com uma experiência física automatizada, segura e fluida. Essa abordagem inédita contribui para a evolução do campo da inovação tecnológica, especialmente nas discussões sobre validação de usuários, segurança transacional e descentralização de processos.

1.5 LIMITAÇÕES DE PESQUISA/IMPLICAÇÕES

Apesar dos avanços apresentados, a pesquisa possui limitações. Primeiramente, a validação empírica foi restrita a eventos específicos, com número limitado de usuários e sem controle experimental aprofundado, o que restringe a generalização dos dados coletados. Em segundo lugar, como a tecnologia ainda está em constante desenvolvimento e adaptação, algumas camadas de segurança e interoperabilidade ainda não foram plenamente testadas em escala comercial.

1.6 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS E SOCIAIS/ ACADÊMICAS

Implicações práticas: A pesquisa oferece diretrizes aplicáveis para gestores e empresas interessadas em desenvolver produtos *Phygital* com integração *blockchain*. Entre os principais aprendizados destacam-se a importância da simplicidade na interação com o usuário, a necessidade de educação tecnológica para adoção da Web3 e a modularidade das soluções como estratégia de escalabilidade. O projeto BeerTap mostrou-se funcional, porém também revelou as dificuldades de inserir tecnologias emergentes em contextos não familiarizados, orientando futuras decisões gerenciais sobre MVPs (produtos minimamente viáveis) e ciclos de feedback.

Implicações sociais e acadêmicas: Do ponto de vista acadêmico, o trabalho contribui para o avanço das discussões sobre inovação digital aplicada, metodologias participativas e experimentação em startups. Ele reforça a importância da pesquisa-ação como método dinâmico, iterativo e eficaz na implementação de soluções tecnológicas emergentes. Socialmente, aponta para os desafios de inclusão digital e acessibilidade ao mundo Web3, propondo caminhos

para tornar a experiência do usuário mais intuitiva e democrática, sem perder a robustez da validação em ambientes descentralizados.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, abordando os conceitos fundamentais que sustentam a pesquisa: tecnologia *Phygital*, *blockchain*, contratos inteligentes, validação de identidade e interoperabilidade. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada, com foco na abordagem de pesquisa-ação aplicada a um estudo de caso prático. O Capítulo 4 concentra-se na aplicação prática da solução desenvolvida, documentando as etapas do *hackathon* Cartesi, o desenvolvimento da BeerTap, os testes com usuários e os aprendizados resultantes. Por fim, o Capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, destacando as contribuições, diretrizes de replicação, limitações, lições aprendidas e propostas para estudos futuros.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada para garantir o alinhamento entre os objetivos da pesquisa e os métodos adotados para alcançá-los. O processo metodológico teve início com a revisão sistemática da literatura em bases acadêmicas como Science Direct e Scopus. Após a análise de 310 documentos encontrados, foram selecionados 20 artigos conforme os artigos descritos no item 2.2, por sua relevância teórica e aplicabilidade prática ao tema proposto.

Com base na análise dos artigos, foram elaborados resumos críticos que permitiram identificar lacunas, barreiras, oportunidades e soluções práticas relacionadas à integração entre *Phygital* e *blockchain*. Essa análise estruturou o as etapas seguintes da pesquisa e orientou a formulação das propostas de melhoria apresentadas no estudo de caso.

A metodologia adotada combina uma abordagem qualitativa e exploratória, estruturada segundo o modelo de pesquisa-ação, por ser compatível com contextos de inovação tecnológica e com a aplicação prática de soluções em ambiente real. Essa abordagem permitiu investigar, aplicar, analisar e propor melhorias nas soluções da startup Infinity Web3.

Tabela 1 - Metodologia para cada objetivo

Objetivo	Metodologia
Conceituar o termo <i>Phygital</i> ;	Seleção de artigos em bases de dados acadêmicas e leitura crítica para consolidação conceitual.
Identificar as vantagens, aplicações e barreiras da tecnologia <i>Phygital</i> ;	Análise de artigos científicos e documentos técnicos para extração de benefícios, desafios e casos de uso.
Analisar os benefícios da integração do <i>Phygital</i> com a <i>blockchain</i> ;	Estudo dos artigos selecionados, com foco na interoperabilidade, rastreabilidade e segurança das aplicações.
Aplicar as tecnologias em um estudo de caso;	Implementação prática de um modelo identificado na literatura, adaptado à realidade da Infinity Web3.
Avaliar as melhorias obtidas;	Comparação dos resultados obtidos na aplicação prática com os achados da literatura revisada.

2.1 RESULTADOS DA BUSCA

O levantamento na literatura foi realizado em bases acadêmicas renomadas, como Science Direct e Scopus, que possuem ampla cobertura de artigos científicos relevantes. A pesquisa inicial utilizou os termos-chave "*Phygital*" e "*Blockchain*" para identificar estudos que explorassem a integração entre essas tecnologias. Para refinar os resultados, foram aplicados os seguintes critérios de inclusão:

1. **Relevância temática:** Artigos que abordam diretamente os conceitos de *Phygital* e *blockchain* ou suas aplicações práticas.
2. **Atualidade:** Publicações dos últimos cinco anos, garantindo uma perspectiva contemporânea das inovações tecnológicas.
3. **Aplicabilidade prática:** Estudos que exemplifiquem aplicações em setores como logística, varejo, manufatura e fintech.

Science Direct: A busca resultou em 25 documentos, dos quais 11 artigos foram selecionados após leitura dos resumos e avaliação dos critérios de atualidade (publicações nos últimos cinco anos), relevância temática e aplicabilidade prática nos setores de varejo, indústria e inovação digital.

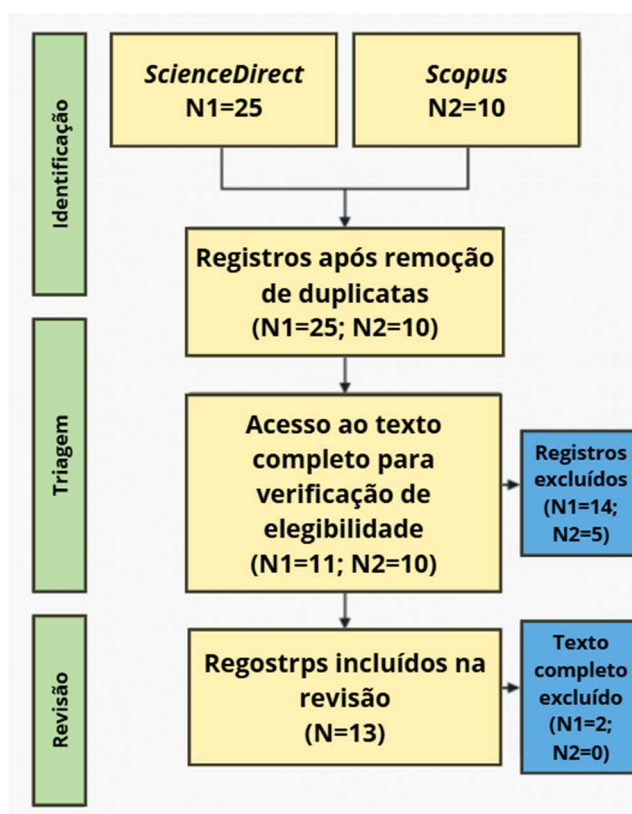
Scopus: Foram encontrados 285 documentos. Após aplicação de filtros rigorosos, como eliminação de duplicatas, avaliação por pertinência ao recorte da pesquisa e exclusão de trabalhos conceituais genéricos, foram selecionados 10 artigos científicos, os quais enriqueceram a análise sobre as aplicações práticas, vantagens e desafios da tecnologia *Phygital* integrada à *blockchain*.

2.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Os artigos escolhidos passaram por uma análise detalhada, considerando aspectos como:

1. Contribuição teórica e prática para o entendimento das tecnologias *Phygital* e *blockchain*;
2. Discussão de barreiras e desafios relacionados à adoção dessas tecnologias;
3. Apresentação de casos práticos ou estudos de aplicação relevantes.

Figura 1 - Modelo PRISMA para revisão de literatura



Fonte: O Autor

O diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) apresentado na Figura 1 ilustra o processo sistemático adotado para a seleção dos artigos científicos utilizados neste trabalho. Inicialmente, foram identificados 25 documentos na base ScienceDirect e 10 documentos na base Scopus, totalizando 35 registros. Após a remoção de duplicatas e a aplicação dos critérios de inclusão, como relevância temática, atualidade (últimos cinco anos) e aplicabilidade prática, 11 artigos da ScienceDirect e 5 da Scopus foram analisados em texto completo. Desses, 11 artigos científicos foram selecionados para compor o corpo teórico da pesquisa, conforme listados na seção de referências. Os artigos excluídos foram, majoritariamente, trabalhos conceituais genéricos, desatualizados ou com foco desalinhado ao escopo da integração entre *Phygital* e *blockchain*. O uso do modelo PRISMA garantiu maior rigor metodológico na revisão de literatura, proporcionando uma base sólida e confiável para o referencial teórico e a discussão dos resultados.

2.3 ARTIGOS ANALISADOS

Os artigos selecionados estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Referencial teórico selecionado

Referência	Periódico	País	Resumo Principal
Del Vecchio, Secundo, Garzoni (2022)	Journal of Innovation Studies	Itália	Revisão crítica sobre tecnologias <i>Phygital</i> , lacunas de interoperabilidade e propostas de agendas futuras.
Pangarkar, Arora, Shukla (2022)	Journal of Business Research	Índia	<i>Design</i> centrado no usuário em <i>Phygital</i> no varejo, realçando personalização e usabilidade.
Laptev, Shaytan (2023)	Luxury Marketing Review	Rússia	Ambientes <i>Phygital</i> de luxo, com <i>blockchain</i> para autenticidade e aumento do engajamento.
Mikheev, Banik, Gao (2023)	Open Innovation Journal	Rússia / China	Modelo interativo em ambientes <i>Phygital</i> aplicando inovação aberta com IoT e <i>blockchain</i> .
Davies, Masera (2024)	Journal of Consumer Research	Reino Unido	Impacto de fatores hedônicos como RA e gamificação na experiência do consumidor <i>Phygital</i> .
Fischer, Müller, Schmidt (2023)	Engineering and Prototyping Journal	Alemanha	Integração de protótipos físicos e digitais na indústria automotiva com <i>blockchain</i> para rastreabilidade.
Davies, Lin, Zhang (2024)	International Journal of Logistics	China	Uso de NFTs para garantir sustentabilidade e rastreabilidade em cadeias de suprimento <i>Phygital</i> .
Banik, Gao, Lin (2024)	Journal of Emerging Technologies	Singapura	Importância da Web 3.0 para interoperabilidade e segurança em ecossistemas <i>Phygital</i> .
Katshimoto, Kannan, Patel (2024)	Brand Management Review	Japão	Uso de aplicativos móveis Phygitaís para aumentar a resiliência de marcas durante a pandemia.

Pangarkar, Arora, Shukla (2023)	Retail & Digital Innovation Journal	Índia	Como o envolvimento emocional em experiências Phygitaís influencia a lealdade dos clientes.
---------------------------------	-------------------------------------	-------	---

2.4 PESQUISA-AÇÃO

A pesquisa-ação é uma abordagem metodológica de natureza qualitativa, colaborativa e cíclica, cujo propósito é investigar um fenômeno a partir de sua transformação prática. Ao contrário das metodologias tradicionais, que mantêm o pesquisador em uma posição de observador externo, esta propõe que ele atue diretamente no contexto estudado, junto aos participantes, promovendo mudanças reais enquanto coleta dados e reflete criticamente sobre o processo. O conceito de pesquisa-ação surgiu em meados do século XX, com o psicólogo social Kurt Lewin, que vislumbrou a necessidade de unir a teoria à prática em contextos sociais. No Brasil, Michel Thiollent, da UFRJ, sistematizou essa abordagem, enfatizando-a como um método de intervenção participativa que produz conhecimento fruto da colaboração ativa entre pesquisador e participantes, especialmente em ambientes de inovação tecnológica (Thiollent, 2011).

Paulo Cauchick Miguel (2007), referência no campo da Engenharia de Produção, destaca que a pesquisa-ação “[...] permite um entendimento holístico do fenômeno, requerendo um pré-entendimento do ambiente e uma condução em tempo real, apoiada por critérios de validade específicos”. Essa visão reforça a importância de protocolos bem estruturados e da participação ativa dos envolvidos no processo, o que ele considera essencial para garantir credibilidade e profundidade investigativa.

A pesquisa-ação possui algumas características centrais que a distinguem:

- Ciclo metodológico contínuo: envolve um processo iterativo de diagnóstico, planejamento, ação, observação, avaliação e reflexão. Cada ciclo realimenta o próximo, em busca de melhorias contínuas com base em dados reais e participação ativa.
- Participação dos atores envolvidos: os sujeitos do contexto estudado não são apenas “fontes de dados”, mas atores colaborativos na definição dos

problemas e soluções. Isso fortalece o compromisso com os resultados e a aplicabilidade das ações.

- Intervenção prática com análise crítica: a geração de conhecimento está integrada à transformação do ambiente real, sendo que a teoria e a prática se retroalimentam em todas as etapas do processo.
- Foco na realidade contextualizada: a pesquisa-ação não parte de modelos universais, mas sim da singularidade do contexto estudado, respeitando suas particularidades sociais, culturais e tecnológicas.

Essa abordagem é particularmente recomendada em ambientes de experimentação, como startups, laboratórios de inovação, instituições de ensino, organizações sociais e projetos de transformação digital — locais nos quais os fenômenos não podem ser plenamente compreendidos apenas por meio da observação passiva, sendo necessário atuar diretamente no desenvolvimento, ajuste e avaliação das soluções propostas.

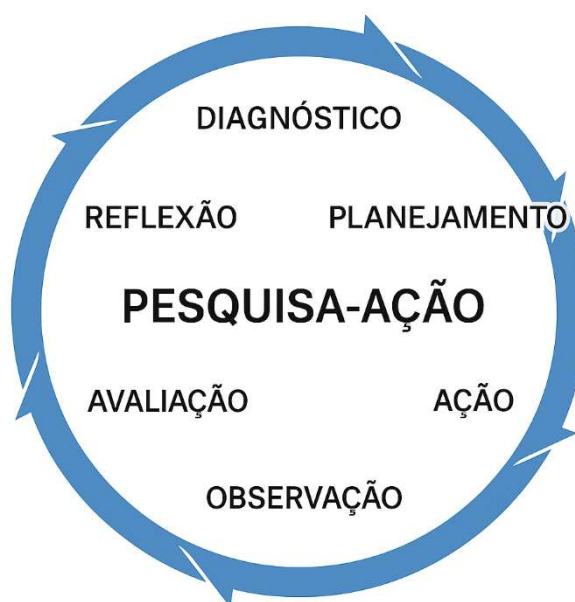
2.4.1 ETAPAS DO CICLO DE PESQUISA-AÇÃO

De acordo com Thiollent (2011) e Tripp (2005), o ciclo metodológico da pesquisa-ação pode ser descrito pelas etapas Diagnóstico, Planejamento, Ação, Observação, Avaliação, Reflexão. Na Tabela 3 constam as descrições de cada uma das etapas e na Figura 2 é ilustrado como a Pesquisa-Ação pode ser entendida como uma metodologia que acontece de maneira cíclica.

Tabela 3 - Descrição das etapas da metodologia Pesquisa-Ação

Etapas	Descrição
Diagnóstico	Levantamento participativo do problema real no contexto estudado.
Planejamento	Definição das estratégias de ação com base na teoria e nas necessidades locais.
Ação	Implementação prática das soluções no ambiente real.
Observação	Coleta sistemática dos efeitos da intervenção (dados qualitativos e quantitativos).
Avaliação	Análise crítica dos resultados à luz dos objetivos e da literatura.
Reflexão	Interpretação dos aprendizados e planejamento de ajustes para o próximo ciclo.

Figura 2 - Ciclo da Pesquisa-Ação



Fonte: O autor

A escolha da pesquisa-ação como base metodológica deste trabalho se justifica por diversos fatores:

- O objeto de estudo envolve a aplicação prática de uma tecnologia inovadora (integração entre *Phygital* e *blockchain*), o que exige um método que permita experimentação contínua e realimentação com base nos resultados obtidos.
- A participação ativa do pesquisador no desenvolvimento e implementação da solução demanda uma abordagem flexível, crítica e centrada na prática, o que se alinha diretamente com os princípios da pesquisa-ação.
- O método oferece condições para avaliar não apenas a eficácia técnica da solução, mas também sua aceitação, usabilidade e impacto real no contexto aplicado, não somente de maneira positiva, mas também de maneira negativa, a depender dos resultados encontrados durante o ciclo metodológico.

Além disso, a pesquisa-ação permite gerar conhecimento aplicável tanto para o meio acadêmico quanto para a prática organizacional, reforçando o caráter translacional e multidisciplinar deste trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

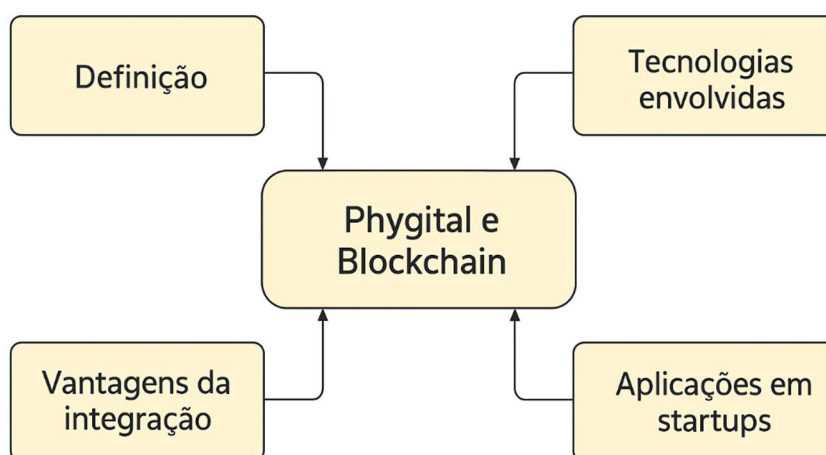
A transformação digital contemporânea tem promovido uma integração cada vez mais fluida entre o físico e o digital, reconfigurando modelos de negócios, práticas de consumo e estratégias organizacionais. Nesse cenário, o conceito de *Phygital* emerge como um novo paradigma de interação, no qual elementos tangíveis e digitais se combinam para criar experiências integradas, personalizadas e imersivas (Galli & Martinez, 2023; Laptev & Shaytan, 2024). A ascensão do *Phygital* está diretamente associada ao avanço de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), realidade aumentada e, especialmente, a *blockchain*, que adiciona camadas de segurança, rastreabilidade e confiança a essas experiências híbridas (Davies, Lin & Zhang, 2024; Mikheev et al., 2023). A integração entre *Phygital* e *blockchain* possibilita, por exemplo, validar a autenticidade de ativos físicos e digitais, automatizar processos por meio de contratos inteligentes e criar novos modelos de negócios baseados em tokens não fungíveis (NFTs). Essas transformações são particularmente evidentes no contexto das startups, que se destacam pela capacidade de experimentar e implementar soluções inovadoras com agilidade. Startups como a Infinity exemplificam esse movimento ao explorar a combinação de tecnologias *Phygital* e *blockchain* para desenvolver produtos que oferecem novas formas de interação entre usuários e sistemas, promovendo modelos de consumo mais conectados, seguros e personalizados (Kim & Yang, 2024).

Além das dimensões tecnológicas e organizacionais, a experiência do usuário (UX) assume papel central nesse processo. A literatura analisada destaca que, em ambientes *Phygital*, a qualidade da UX, caracterizada pela imersão, fluidez, personalização e engajamento emocional, é um fator decisivo para a adoção e sucesso das soluções (Banik & Gao, 2023; Laptev & Shaytan, 2024). O design de experiências que eliminam barreiras entre o mundo físico e o digital potencializa o valor percebido pelos usuários e fortalece a fidelização, sendo especialmente relevante em setores como varejo, saúde e entretenimento (Pangarkar, Arora & Shukla, 2023).

A Figura 3 sintetiza os principais temas abordados ao longo do referencial teórico deste trabalho, organizando visualmente as dimensões conceituais e aplicadas da integração entre o mundo *Phygital* e a tecnologia *blockchain*. A

imagem apresenta, de forma estruturada, a definição do termo *Phygital*, suas vantagens (como personalização, rastreabilidade e segurança), os principais setores de aplicação, e o papel da experiência do usuário (UX) como elemento crítico para adoção. Esse esquema facilita a compreensão da complexidade do ecossistema analisado, evidenciando como os diferentes conceitos se interconectam para formar uma base teórica sólida que sustenta a aplicação prática desenvolvida pela Infinity Web3. A representação também reforça a centralidade da UX e a importância da interoperabilidade tecnológica para o sucesso de soluções híbridas e inovadoras.

Figura 3 - Estrutura conceitual da integração entre *Phygital*, *Blockchain* e UX.



Fonte: O autor.

3.1 DEFINIÇÃO, BARREIRAS E APLICAÇÕES DO PHYGITAL

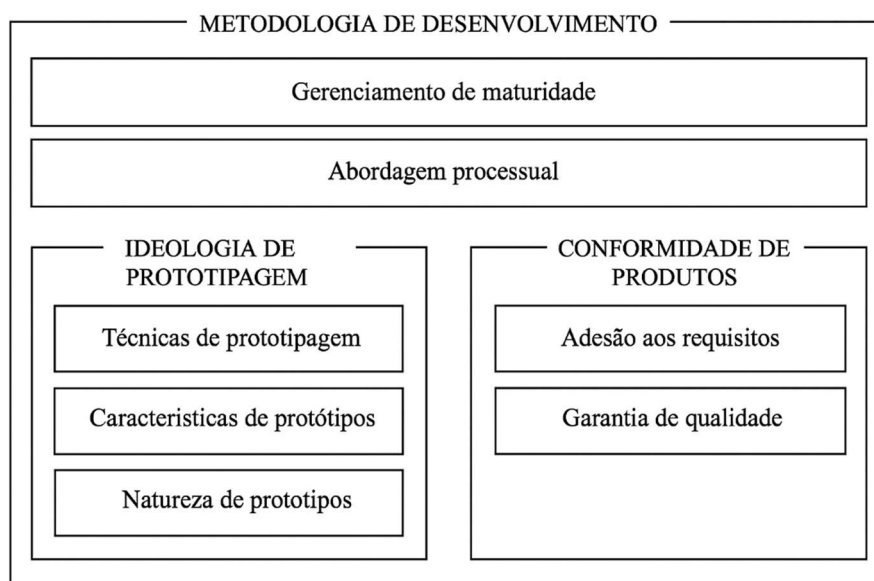
O termo *Phygital* resulta da junção das palavras *physical* (físico) e *digital*, representando a integração fluida entre esses dois domínios para criar experiências interativas e conectadas. Essa integração busca eliminar as fronteiras entre o online e o offline, constituindo um ecossistema em que consumidores, empresas e tecnologias coexistem de maneira contínua e responsiva. A origem do conceito vem da década de 2010, inicialmente aplicado por agências de marketing e publicidade para descrever campanhas que combinavam ativações físicas e interações digitais. Como destacam Davies e Masera (2024), "o valor do *Phygital* está na continuidade

da jornada do usuário, sem rupturas entre canais físicos e digitais", o que permite criar experiências mais integradas e imersivas.

A consolidação acadêmica do conceito se intensificou a partir de 2015, impulsionada pelo avanço das tecnologias interativas e móveis, bem como pela disseminação da Internet das Coisas (IoT) como habilitadora da fusão entre físico e digital (Galli & Martinez, 2023). Hoje, o *Phygital* é entendido não apenas como uma estratégia de engajamento, mas como um componente central das transformações digitais que impactam setores como o varejo, a saúde e a manufatura. Como Laptev e Shaytan (2024) destacam, o *Phygital* é especialmente relevante em ambientes omnichannel (estratégia que integra todos os canais de comunicação e venda de uma empresa para oferecer uma experiência de compra consistente e contínua para o cliente, independentemente do canal utilizado (online ou offline), onde marcas buscam reforçar vínculos emocionais com os consumidores ao combinar elementos sensoriais e tecnológicos. Assim, o *Phygital* extrapola a mera digitalização de processos físicos, consolidando-se como um paradigma estratégico de inovação.

A Figura 4 apresenta a estratégia de desenvolvimento adotada, baseada em um modelo abrangente de gestão de maturidade, ideologia de prototipagem e conformidade do produto, conforme proposto por Fischer, Müller e Schmidt (2023).

Figura 4 – Estratégia de desenvolvimento.



Fonte: Fischer, Müller e Schmidt (2023).

Não se limitando à eficiência operacional, aspectos relacionados à satisfação e ao envolvimento do consumidor também têm influenciado a adoção do *Phygital*. Banik e Gao (2023) exploram como elementos como entretenimento, narrativa e estímulos sensoriais aumentam o valor percebido em experiências de consumo. Esses aspectos tornam a jornada do cliente mais envolvente e emocionalmente significativa, contribuindo para maior fidelização. A aplicação do *Phygital* no setor de saúde, por sua vez, demonstra seu impacto social. Tecnologias baseadas em sensores, monitoramento remoto e visualização interativa têm contribuído para diagnósticos mais precisos e atendimento personalizado (Mikheev et al., 2023). No setor logístico, o uso combinado de dispositivos físicos e plataformas digitais facilita o controle de estoques e o rastreamento de produtos sensíveis, como medicamentos ou alimentos, reduzindo desperdícios e aumentando a transparência (Pangarkar; Aarora; Shukla, 2022). Em resumo, o conceito de *Phygital* evoluiu de um recurso para engajamento no varejo para uma abordagem estratégica de transformação digital. Combinando tecnologias de ponta e experiências sensoriais, o *Phygital* redefine a forma como pode-se interagir com o mundo ao — e, como será explorado nos tópicos seguintes, sua integração com a *blockchain* amplifica ainda mais esse potencial.

Além das aplicações setoriais, é relevante compreender a origem e evolução histórica do termo "*Phygital*", que surgiu no início da década de 2010 no contexto do marketing e do varejo, sendo utilizado inicialmente por agências de publicidade para descrever campanhas que combinavam ativações físicas com interações digitais. Com o avanço das tecnologias interativas e móveis, esse conceito foi gradualmente incorporado por setores como a moda, o entretenimento e o design de experiências, ganhando robustez acadêmica apenas a partir de 2015, com a consolidação do paradigma omnichannel e o crescimento da Internet das Coisas (IoT) como habilitadora dessa fusão.

É importante diferenciar o *Phygital* de conceitos adjacentes, como “digital twin” e “realidade mista”. Enquanto o *digital twin* foca na representação virtual em tempo real de ativos físicos, muitas vezes aplicado em contextos industriais, e a *realidade mista* na sobreposição de camadas digitais no mundo físico (como na realidade aumentada), o *Phygital* abrange uma visão mais ampla de experiência, englobando não apenas a tecnologia em si, mas principalmente a forma como o

consumidor ou usuário interage com ela de maneira integrada. Como mostram Davies e Maserà (2024), o valor do *Phygital* está na continuidade da jornada do usuário, sem rupturas entre canais físicos e digitais.

Além disso, o *Phygital* não deve ser confundido com uma simples digitalização de processos físicos, tampouco com a criação de soluções digitais desconectadas da realidade física. O diferencial está na interatividade fluida e contextualizada, que não apenas digitaliza a operação, mas transforma a maneira como produtos, pessoas e sistemas interagem. Mikheev et al. (2023) argumentam que esse novo paradigma exige uma reestruturação das práticas organizacionais e culturais, promovendo uma nova lógica de relacionamento entre empresas, clientes e stakeholders por meio de ambientes colaborativos, sensoriais e altamente responsivos.

As aplicações da tecnologia *Phygital* expandiram-se significativamente, ultrapassando setores tradicionais como o varejo e o entretenimento, consolidando-se como uma ferramenta estratégica em campos como logística, saúde e manufatura (Laptev & Shaytan, 2024). Sua capacidade de integrar elementos físicos e digitais permite a criação de experiências mais personalizadas, rastreáveis e interativas, ajustadas às necessidades e expectativas dos consumidores. No setor logístico, o *Phygital* tem sido fundamental para assegurar a rastreabilidade e o controle em tempo real. Mikheev et al. (2023) destacam que, através da integração com sensores IoT, é possível monitorar condições ambientais, localização e status de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, promovendo ganhos de eficiência e aumentando a confiança do consumidor. Já no segmento da saúde, tecnologias *Phygital* têm sido aplicadas para realizar monitoramento remoto de pacientes, proporcionando diagnósticos mais ágeis e tratamentos personalizados (Davies & Maserà, 2024). Entre as principais vantagens da abordagem *Phygital* estão a personalização da experiência do usuário, a otimização de processos e o aumento da fidelização do cliente. A capacidade de gerar interações hedônicas e sensoriais, como por meio da realidade aumentada e da gamificação, favorece um vínculo emocional com marcas e serviços, como demonstrado por Banik e Gao (2023), que ressaltam que "elementos como entretenimento, narrativa e estímulos sensoriais aumentam o valor percebido em experiências de consumo".

Contudo, apesar de seu potencial transformador, o *Phygital* enfrenta barreiras técnicas, econômicas e culturais que dificultam sua adoção em larga escala. Um dos principais desafios está na integração com sistemas legados e na necessidade de interoperabilidade entre plataformas heterogêneas (Mikheev et al., 2023). A ausência de padrões técnicos consolidados e a resistência à mudança por parte de empresas mais tradicionais limitam a escalabilidade das soluções. Além disso, os altos custos iniciais de implementação representam uma barreira substancial, especialmente para pequenas e médias empresas. Conforme destacado por Davies et al. (2023), mesmo com a promessa de retornos a longo prazo, o investimento em infraestrutura digital, capacitação de equipes e adaptação de processos ainda é visto com cautela.

Outro ponto crítico está na cultura dos usuários e do meio onde o *Phygital* é introduzido. Muitas vezes, a transformação não ocorre apenas no nível tecnológico, mas exige uma mudança comportamental profunda, tanto dos consumidores quanto das organizações. Mikheev et al. (2023) destacam que a resistência cultural pode ser um dos fatores mais desafiadores, pois requer um reposicionamento da maneira como as pessoas se relacionam com os processos e com as tecnologias no seu cotidiano. Esse aspecto é particularmente relevante em setores como a saúde e o varejo, onde o contato humano direto ainda é valorizado como parte essencial da experiência.

Exemplos concretos ajudam a compreender como essas transformações acontecem na prática e como as vantagens e barreiras se manifestam em ambientes reais.

3.2 APLICAÇÕES DO PHYGITAL EM EMPRESAS FAMOSAS

A Nike é um exemplo emblemático da aplicação do *Phygital* no varejo. Em sua loja conceito "Nike by Melrose", em Los Angeles, a empresa introduziu uma experiência baseada na fusão entre o espaço físico e a interface digital. O aplicativo Nike é o centro dessa estratégia, permitindo que os consumidores verifiquem a disponibilidade de produtos, reservem itens para experimentação e realizem pagamentos sem contato, eliminando etapas que tradicionalmente exigiriam interações presenciais prolongadas (Retail Technology, 2023). Além disso, o uso de dados de compras online para definir o sortimento da loja física exemplifica a

aplicação prática da ideia de uma jornada fluida entre os canais, tal como defendida por Laptev e Shaytan (2024), que destacam a importância da integração omnichannel para reforçar o vínculo emocional com os consumidores.

Esse modelo de loja reflete diretamente a concepção de ambientes *Phygital* como aqueles que buscam personalização e imediatismo nas interações. Como Banik e Gao (2023) elucidam, elementos como conveniência e estímulos sensoriais aumentam o valor percebido pelo cliente e favorecem sua fidelização. Contudo, o caso da Nike também evidencia desafios importantes. A implementação de um ambiente *Phygital* tão sofisticado depende de uma infraestrutura tecnológica robusta e de uma cultura organizacional voltada para o uso intensivo de dados. Além disso, há uma barreira significativa ligada à cultura dos consumidores: muitos clientes podem resistir a esse modelo mais automatizado de interação, especialmente aqueles que valorizam o atendimento pessoal tradicional. Mikheev et al. (2023) alertam para essa dificuldade ao apontar que a adoção de soluções *Phygital* exige uma mudança não apenas tecnológica, mas também comportamental e cultural, tanto por parte das organizações quanto dos usuários.

A Starbucks também exemplifica o potencial da tecnologia *Phygital* ao integrar aplicativos móveis, programas de fidelidade digitais e sistemas físicos de retirada rápida. O recurso "Order & Pay" permite que os clientes façam pedidos e pagamentos antecipadamente via aplicativo, reduzindo significativamente o tempo de espera nas lojas (Pressman, 2024). Além disso, a Starbucks utiliza dados coletados por meio do app para personalizar recomendações e promoções, reforçando a ideia de uma jornada personalizada e integrada, um dos pilares fundamentais do ambiente *Phygital* segundo Banik e Gao (2023).

Essa abordagem evidencia como o *Phygital* pode ser usado para reduzir fricções na experiência do consumidor e para ampliar a eficiência operacional. No entanto, como também observado no caso da Nike, a implementação desse modelo encontra barreiras importantes. A principal delas está relacionada à resistência cultural: embora muitos consumidores apreciem a conveniência e rapidez proporcionadas pelas soluções digitais, outros podem perceber essas mudanças como uma desumanização do serviço ou até mesmo como um obstáculo para interações sociais espontâneas que caracterizam a experiência de consumo tradicional em cafeterias. Como Mikheev et al. (2023) destacam, essa resistência

pode ser acentuada em contextos culturais nos quais o contato humano é altamente valorizado, ou entre grupos que possuem menor familiaridade com tecnologias digitais. Além disso, a complexidade da integração tecnológica entre sistemas digitais e operações físicas constitui uma barreira significativa. A necessidade de garantir uma interoperabilidade fluida entre as plataformas e de manter a proteção de dados sensíveis dos usuários são desafios recorrentes, como salientado por Davies et al. (2023). Assim, apesar das evidentes vantagens em termos de personalização, eficiência e engajamento, a adoção de soluções *Phygital*, como demonstram os casos da Nike e da Starbucks, depende de uma abordagem estratégica que considere não apenas as oportunidades tecnológicas, mas também as limitações culturais, sociais e econômicas do público-alvo.

A análise das aplicações práticas do *Phygital* evidencia que sua adoção transcende a mera incorporação de tecnologias emergentes, exigindo uma reconfiguração estratégica das organizações para integrar processos físicos e digitais de maneira coesa e centrada na experiência do usuário. O sucesso de iniciativas como as da Nike e da Starbucks demonstra o potencial do *Phygital* para gerar vantagens competitivas, especialmente na personalização e na eficiência operacional, mas também revela os desafios relacionados à interoperabilidade tecnológica e à transformação cultural necessária para sua plena adoção. Dessa forma, a compreensão das múltiplas dimensões do *Phygital*, suas aplicações, benefícios e barreiras, é fundamental para orientar estratégias de implementação em diferentes setores. A seguir, a Tabela 4 sintetiza os principais conceitos, aplicações e vantagens discutidos neste tópico, oferecendo uma visão estruturada das evidências analisadas.

Tabela 4 - Descrição das aplicações, conceitos e vantagens da tecnologia

Phygital

Referência	Conceito	Aplicação	Vantagem
Laptev & Shaytan (2024)	Integração sensorial e tecnológica em ambientes omnichannel.	Varejo de luxo.	Reforço do vínculo emocional com o consumidor.
Mikheev et al. (2023)	Integração de IoT e <i>blockchain</i> na logística.	Monitoramento e rastreabilidade.	Melhoria operacional e automação de processos.
Banik & Gao (2023)	Elementos hedônicos e sensoriais na experiência <i>Phygital</i> .	Varejo e entretenimento.	Aumento do valor percebido e da fidelização do cliente.
Davies et al. (2023)	Barreiras econômicas e técnicas à adoção do <i>Phygital</i> .	Manufatura e serviços.	Necessidade de investimentos em infraestrutura e capacitação.
Retail Technology (2023)	Implementação de conceito <i>Phygital</i> na loja física.	Nike Concept Store, Nova York.	Personalização, conveniência e integração digital.
Pressman (2024)	Estratégia <i>Phygital</i> para simplificar atendimento e fidelizar clientes.	Starbucks: aplicativo, programa de fidelidade.	Jornada fluída, redução de fricções e eficiência operacional.

3.3 BLOCKCHAIN

A tecnologia *blockchain* emergiu como uma resposta inovadora à necessidade de registros digitais seguros, transparentes e descentralizados. Sua origem remonta a 2008, quando um indivíduo ou grupo sob o pseudônimo de Satoshi Nakamoto introduziu o conceito no white paper do Bitcoin, propondo uma estrutura que eliminasse a dependência de intermediários confiáveis para validação de transações digitais. O objetivo principal era resolver o problema do gasto duplo em moedas digitais, garantindo que cada unidade de valor fosse única e não reutilizável (Ethereum Foundation, 2025).

Historicamente, a ideia de registros digitais imutáveis já havia sido explorada anteriormente. Em 1991, os pesquisadores Stuart Haber e W. Scott Stornetta propuseram um sistema criptograficamente seguro para registrar timestamps (sequência de caracteres ou um valor numérico que representa um momento específico no tempo) de documentos, visando impedir alterações não autorizadas. Essa proposta evoluiu com a introdução das árvores de Merkle (estrutura de dados em forma de árvore usada para verificar a integridade e autenticidade de grandes quantidades de dados de forma eficiente) em 1992, permitindo a agregação eficiente de múltiplos documentos em um único bloco. No entanto, foi com a implementação do Bitcoin que a *blockchain* se consolidou como uma tecnologia disruptiva, combinando criptografia, redes peer-to-peer e algoritmos de consenso para criar um livro-razão público e descentralizado (IBM, 2025). A *blockchain* funciona como um livro-razão digital distribuído, onde as transações são agrupadas em blocos e encadeadas cronologicamente. Cada bloco contém um hash (sequência de caracteres fixos em base hexadecimal) criptográfico do bloco anterior, garantindo a imutabilidade dos dados. Essa estrutura descentralizada significa que nenhuma entidade única controla a rede; em vez disso, todos os participantes mantêm uma cópia sincronizada do livro-razão, promovendo transparência e resiliência contra falhas ou ataques maliciosos (IBM, 2025). Um dos pilares fundamentais da *blockchain* é a descentralização. Diferentemente dos sistemas tradicionais centralizados, onde uma autoridade única gerencia e valida as transações, na *blockchain* essa função é distribuída entre os participantes da rede. Essa abordagem elimina pontos únicos de falha e reduz a necessidade de confiança em intermediários, tornando as transações mais seguras e eficientes.

Conforme destacado pela IBM (2025), “a descentralização na *blockchain* permite que os membros participem de uma rede distribuída, sem um único ponto de falha, e impede que um único usuário altere o registro das transações”. Além disso, a *blockchain* introduziu o conceito de contratos inteligentes (smart contracts), que são programas autoexecutáveis armazenados na própria *blockchain*. De acordo com a Ethereum Foundation (2025), “os contratos inteligentes são programas que são executados automaticamente assim que condições pré-definidas são atendidas, sem necessidade de intermediários”. Essa funcionalidade é particularmente relevante em ambientes *Phygital*, onde a integração entre o físico

e o digital exige mecanismos confiáveis e autônomos para validar e executar transações.

Em suma, a *blockchain* representa uma evolução significativa na forma como registramos, validamos e compartilhamos informações. Sua combinação de segurança criptográfica, transparência, imutabilidade e descentralização a torna uma tecnologia fundamental para a construção de sistemas mais confiáveis e eficientes, especialmente em contextos que demandam alta integridade e confiança nas transações.

3.4 UMA ANALOGIA: O CICLO PDCA COMO PARALELO DIDÁTICO

Embora não seja o foco desta pesquisa, é pertinente estabelecer uma analogia com o ciclo PDCA (Plan–Do–Check–Act), amplamente conhecido no meio industrial. A comparação é válida para facilitar a compreensão da lógica cíclica da pesquisa-ação, especialmente entre leitores familiarizados com metodologias tradicionais de melhoria contínua. O PDCA é amplamente ensinado e aplicado no meio corporativo por sua clareza operacional, foco em métricas e compatibilidade com normas ISO e programas de qualidade. Já a pesquisa-ação, por sua origem acadêmica e ênfase em processos mais subjetivos e reflexivos, ainda é menos disseminada fora do universo da pesquisa científica, mesmo sendo extremamente eficaz em contextos complexos e inovadores. Essa comparação, portanto, não pretende equiparar os métodos, mas sim usar o PDCA como referência para destacar a lógica cíclica da pesquisa-ação, facilitando sua compreensão para profissionais vindos da engenharia, da indústria ou da gestão tradicional. O PDCA é utilizado na gestão da qualidade e da produção como uma forma sistemática de promover melhorias em processos e produtos, ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Ciclo PDCA



Fonte: O autor.

Sua estrutura envolve:

1. Plan (Planejar): identificar o problema e elaborar um plano de ação;
2. Do (Executar): implementar a ação planejada;
3. Check (Verificar): avaliar os resultados;
4. Act (Agir): padronizar ou ajustar conforme os aprendizados.

A semelhança entre o PDCA e a pesquisa-ação está na natureza iterativa e na ênfase em aprender com a prática. No entanto, há diferenças importantes vistas na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparação entre metodologia PDCA e Pesquisa-Ação

Aspecto	PDCA (Indústria Tradicional)	Pesquisa-Ação (Inovação Tecnológica / Acadêmica)
Finalidade	Melhoria contínua de processos e padronização.	Transformação contextualizada e geração de conhecimento
Participação	Tipicamente gerencial, top-down	Altamente colaborativa, com envolvimento direto dos participantes locais
Aplicação típica	Gestão da produção, controle de qualidade.	Ambientes de inovação, educação, tecnologia e desenvolvimento organizacional

Ênfase	Eficiência, controle e repetibilidade	Reflexão crítica, adaptação e aprendizado coletivo.
--------	---------------------------------------	---

Dessa forma, a pesquisa-ação se apresenta como a abordagem mais apropriada para investigações que exigem envolvimento ativo do pesquisador em ambientes de constante mudança, como é o caso da integração entre tecnologias emergentes e soluções práticas aplicadas no cotidiano de startups. A natureza dinâmica do desenvolvimento tecnológico demanda ciclos curtos de experimentação, validação e adaptação, características que dialogam diretamente com os princípios da pesquisa-ação. Além disso, o fato de essa metodologia permitir que os aprendizados de cada ciclo orientem as próximas decisões contribui para uma evolução orgânica da solução proposta, incorporando a realidade operacional, as reações dos usuários e os limites técnicos enfrentados ao longo do processo. Com isso, o método não apenas viabiliza a construção de conhecimento relevante, mas também promove transformações reais no contexto estudado, permitindo uma análise rica, situada e interdisciplinar.

No campo da inovação tecnológica, a aplicação da pesquisa-ação também é evidenciada em estudos de projetos de engenharia e automação. Por exemplo, Dal Forno et al. (2024), ao implementar indicadores automáticos usando Business Intelligence em uma empresa multinacional do setor de transformação industrial, relatam que "o uso da metodologia de pesquisa-ação permitiu o desenvolvimento incremental de soluções reais, alinhadas à prática da organização". O estudo demonstra como o ciclo de desenvolvimento, diagnóstico, ação e reflexão, foi essencial para aprimorar a gestão de projetos e automatizar processos de forma contínua. Da mesma forma, em uma análise de automação com base em PFMEA (Failure Mode and Effects Analysis), Dal Forno e colaboradores (2024) descrevem a abordagem de pesquisa-ação aplicada em ambiente industrial de baixa/ média tensão em Blumenau, confirmando que "foram reduzidos 71 % dos riscos mapeados, fruto da intervenção estruturada, participativa e cíclica com o time de engenharia".

3.5 BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO ENTRE PHYGITAL E BLOCKCHAIN

A integração entre as tecnologias *Phygital* e *blockchain* representa uma convergência estratégica que amplia o potencial de ambas as soluções. Ao

combinar a interatividade, imersão e personalização típicas dos ambientes *Phygital* com a segurança, rastreabilidade e descentralização proporcionadas pela *blockchain*, criam-se sistemas capazes de transformar a maneira como ativos físicos e digitais são gerenciados e experienciados. Um dos principais exemplos dessa integração está na utilização dos tokens não fungíveis (NFTs), que permitem representar digitalmente ativos físicos com características de unicidade, rastreabilidade e interoperabilidade. Conforme Davies, Lin e Zhang (2024) afirmam, “os NFTs permitem agregar valor a ativos físicos, oferecendo rastreabilidade, exclusividade e interoperabilidade entre plataformas”. Isso é particularmente valioso em setores como moda, arte, entretenimento e alimentação, onde a autenticidade e a origem dos produtos são fundamentais. Além dos benefícios operacionais, a integração entre *Phygital* e *blockchain* facilita a criação de novos modelos de negócios, como marketplaces descentralizados e sistemas de recompensa baseados em tokens, que promovem maior engajamento e participação dos usuários (Davies et al., 2023). No entanto, essa convergência não está isenta de desafios técnicos significativos, especialmente relacionados ao chamado trilema da escalabilidade.

O trilema da escalabilidade da *blockchain*, descrito por Davies et al. (2024) visto na Figura 6, refere-se à dificuldade de alcançar simultaneamente os três pilares fundamentais da tecnologia: descentralização, segurança e escalabilidade. Em soluções *Phygital*, onde a experiência do usuário precisa ser fluida e responsiva, comprometer qualquer uma dessas dimensões pode impactar negativamente a adoção da tecnologia. Para contornar essas limitações, têm-se explorado estratégias híbridas, que combinam processos on-chain e off-chain. De acordo com a Ethereum Foundation (2025), “processos off-chain permitem aliviar a carga transacional da *blockchain*, otimizando a velocidade e a eficiência sem comprometer a segurança”.

Além disso, a descentralização proporcionada pelo *blockchain* aumenta a resiliência dos sistemas *Phygital*, reduzindo a dependência de intermediários e promovendo maior transparência. Isso é especialmente útil em cadeias globais de suprimento, onde a confiabilidade dos dados é essencial para evitar fraudes e garantir a conformidade (Masera, 2024). Por fim, a sinergia entre *Phygital* e *blockchain* não apenas potencializa a segurança e a eficiência das operações, mas

também viabiliza experiências inovadoras e diferenciadas para os usuários. A evolução desses ecossistemas depende, contudo, de um alinhamento entre tecnologia, cultura organizacional e regulação, sendo necessário promover ambientes colaborativos e abertos à experimentação.

Figura 6 – O trilema da escalabilidade da *Blockchain*.



Fonte: Davies et al. (2024)

O trilema da escalabilidade (Figura 6) sintetiza os três principais atributos que uma *blockchain* busca equilibrar: descentralização, segurança e escalabilidade. A dificuldade em maximizar simultaneamente esses três aspectos é um dos desafios técnicos mais complexos para o desenvolvimento de sistemas *blockchain* robustos. *Blockchains* altamente descentralizadas, como o Bitcoin, frequentemente sacrificam a escalabilidade, resultando em baixa capacidade transacional e altos custos operacionais. Por outro lado, soluções que priorizam a escalabilidade, como algumas *blockchains* permissionadas, tendem a reduzir a descentralização, reintroduzindo pontos únicos de falha e, conseqüentemente, riscos de vulnerabilidades sistêmicas. A segurança, embora imprescindível, pode impactar diretamente a velocidade das transações, sobretudo quando se utilizam mecanismos de consenso mais complexos e energeticamente intensivos, como o Proof of Work (PoW). Esse modelo, historicamente associado ao Bitcoin, é conhecido por garantir altos níveis de segurança, mas à custa de baixa escalabilidade e grande consumo de energia (Ethereum Foundation, 2025). Diante

desse cenário, a própria Ethereum Foundation (2025) reconhece a necessidade de superar tais limitações: “os avanços em soluções de escalabilidade, como rollups e sharding, são essenciais para permitir que *blockchains* públicas atinjam o desempenho necessário para suportar aplicações em larga escala, sem abrir mão da segurança e da descentralização”. Essas soluções são especialmente importantes no contexto *Phygital*, onde a experiência do usuário exige respostas em tempo real e alta disponibilidade, características que podem ser prejudicadas se a infraestrutura *blockchain* não for adequadamente dimensionada.

Por esse motivo, arquiteturas híbridas vêm ganhando destaque como alternativas viáveis para mitigar os efeitos do trilema. A utilização de processos off-chain, como canais de pagamento e sidechains (cadeias de blocos separadas e independentes, conectadas a uma *blockchain* principal, como Bitcoin ou Ethereum), permite reduzir a carga transacional da *blockchain* principal, garantindo maior eficiência e fluidez na experiência do usuário, sem comprometer a segurança e a descentralização das operações centrais (Ethereum Foundation, 2025). Assim, o trilema da escalabilidade não deve ser visto apenas como uma limitação, mas como um fator orientador que direciona o desenvolvimento de soluções inovadoras e adaptativas para a integração bem-sucedida entre os mundos físico e digital.

3.6 EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO (UX)

A Experiência do Usuário (User Experience – UX) é um conceito fundamental no desenvolvimento de produtos, serviços e sistemas que visam criar interações mais significativas, agradáveis e eficientes para os usuários. De acordo com a International Organization for Standardization (ISO 9241-210, 2010), UX refere-se às “percepções e respostas de uma pessoa que resultam do uso ou da antecipação do uso de um produto, sistema ou serviço”. Portanto, não se trata apenas da usabilidade, mas também de aspectos emocionais, estéticos e contextuais que influenciam a interação do usuário. No contexto da transformação digital e da criação de ambientes *Phygital*, a UX adquire uma importância ainda maior, pois envolve a integração entre elementos físicos e digitais, exigindo um planejamento cuidadoso para assegurar uma experiência fluida e coerente em múltiplos pontos de contato. Como destacado por Banik e Gao (2023), “o valor do

Phygital reside na capacidade de proporcionar experiências contínuas e imersivas, eliminando a percepção de separação entre o mundo físico e o digital".

Casos emblemáticos como os da Nike e da Starbucks, analisados anteriormente no item 3.2, evidenciam a centralidade da UX na estratégia *Phygital*. A Nike, ao implementar sistemas de reserva via aplicativo e pagamentos sem contato, cria uma jornada de compra fluida e personalizada, reforçando o engajamento do consumidor. Da mesma forma, a Starbucks, ao adotar o recurso "Order & Pay", exemplifica como a UX pode reduzir fricções no atendimento e melhorar a eficiência, aspectos essenciais para a satisfação do usuário e a fidelização (Pressman, 2024; Retail Technology, 2023). Para alcançar uma experiência de usuário bem-sucedida em ambientes *Phygital*, diversos fatores são determinantes, entre eles: a usabilidade — garantindo que as interfaces sejam intuitivas; a acessibilidade — para que usuários com diferentes habilidades possam interagir; e a emoção — promovendo uma conexão significativa entre o usuário e o sistema (Davies & Masera, 2024). Além disso, a coerência entre os canais físico e digital é fundamental para evitar rupturas na jornada do usuário.

Por outro lado, falhas na concepção da UX podem comprometer seriamente o sucesso de soluções *Phygital*. Como salientam Mikheev et al. (2023), problemas como interfaces confusas, tempos de resposta lentos ou falta de personalização podem gerar frustração e resistência à adoção dessas tecnologias. Assim, garantir uma experiência positiva para o usuário é não apenas um diferencial competitivo, mas um elemento essencial para a viabilidade de sistemas que integram o físico e o digital. No âmbito de startups e ecossistemas de inovação, como o da Infinity Web3, a preocupação com a UX torna-se ainda mais estratégica, dado que a adoção de tecnologias emergentes, como *blockchain* e *Phygital*, depende diretamente da aceitação e do engajamento dos usuários. A criação de experiências envolventes e centradas no usuário é, portanto, um requisito fundamental para o sucesso e a escalabilidade de tais soluções, especialmente considerando os desafios e benefícios explorados nos tópicos anteriores sobre a integração *Phygital* e *blockchain*.

A Experiência do Usuário (User Experience – UX) é um conceito fundamental no desenvolvimento de produtos, serviços e sistemas que visam criar interações mais significativas, agradáveis e eficientes para os usuários. De acordo

com a International Organization for Standardization (ISO 9241-210, 2010), UX refere-se às "percepções e respostas de uma pessoa que resultam do uso ou da antecipação do uso de um produto, sistema ou serviço". Portanto, não se trata apenas da usabilidade, mas também de aspectos emocionais, estéticos e contextuais que influenciam a interação do usuário. No contexto da transformação digital e da criação de ambientes *Phygital*, a UX adquire uma importância ainda maior, pois envolve a integração entre elementos físicos e digitais, exigindo um planejamento cuidadoso para assegurar uma experiência fluida e coerente em múltiplos pontos de contato. Como destacado por Banik e Gao (2023), "o valor do *Phygital* reside na capacidade de proporcionar experiências contínuas e imersivas, eliminando a percepção de separação entre o mundo físico e o digital".

Para alcançar uma experiência de usuário bem-sucedida em ambientes *Phygital*, diversos fatores são determinantes, entre eles: a usabilidade, garantindo que as interfaces sejam intuitivas; a acessibilidade, para que usuários com diferentes habilidades possam interagir; e a emoção, promovendo uma conexão significativa entre o usuário e o sistema (Davies & Masera, 2024). Além disso, a coerência entre os canais físico e digital é fundamental para evitar rupturas na jornada do usuário. Por outro lado, falhas na concepção da UX podem comprometer seriamente o sucesso de soluções *Phygital*. Como salientam Mikheev et al. (2023), problemas como interfaces confusas, tempos de resposta lentos ou falta de personalização podem gerar frustração e resistência.

3.7 HACKATHON

Hackathons são eventos colaborativos e intensivos, geralmente realizados em um curto período de tempo (de 24 a 72 horas), nos quais equipes multidisciplinares se reúnem para desenvolver soluções inovadoras para desafios específicos. Esses eventos têm se consolidado como ferramentas estratégicas para fomentar a inovação aberta, a prototipagem rápida e a validação de ideias em ambientes de alta intensidade criativa. No contexto da transformação digital e da Web3, os *hackathons* funcionam como laboratórios vivos de experimentação, onde tecnologias emergentes podem ser testadas em aplicações reais.

A literatura sobre inovação digital destaca que ambientes como *hackathons* são propícios à experimentação e à aprendizagem prática, especialmente em

startups e ecossistemas de inovação (Thiollent, 2011; Miguel, 2007). Esses eventos promovem a integração entre diferentes perfis profissionais, como engenheiros, designers e empreendedores, e favorecem a criação de soluções que combinam criatividade, viabilidade técnica e impacto social. Além disso, *hackathons* são ambientes ideais para aplicar metodologias como a pesquisa-ação, uma vez que permitem ciclos curtos de diagnóstico, ação, observação e reflexão, conforme discutido no capítulo 2 deste trabalho.

3.8 WEB3

A Web3, ou Web 3.0, representa a próxima geração da internet, caracterizada pela descentralização, interoperabilidade e propriedade digital dos dados pelos usuários. Diferente da Web 2.0 — centrada em plataformas e serviços controlados por grandes corporações —, a Web3 propõe um ecossistema no qual os usuários podem interagir, transacionar e criar valor sem depender de intermediários, utilizando tecnologias como *blockchain*, contratos inteligentes e tokens não fungíveis (NFTs) como infraestrutura base (Ethereum Foundation, 2025). No contexto da Web3, a *blockchain* atua como o principal mecanismo de confiança, permitindo que transações e interações sejam registradas de forma imutável, auditável e descentralizada. Essa estrutura possibilita a criação de identidades digitais soberanas, ativos digitais únicos (como NFTs) e sistemas econômicos baseados em tokens, nos quais os próprios usuários participam da governança e da distribuição de valor (Davies, Lin & Zhang, 2024). Além disso, a Web3 promove a interoperabilidade entre plataformas, permitindo que ativos e identidades digitais sejam utilizados em diferentes aplicações, como marketplaces, jogos, redes sociais e ambientes *Phygital*.

A adoção da Web3, no entanto, ainda enfrenta desafios significativos, como a complexidade técnica, a baixa familiaridade do público com conceitos como carteiras digitais e tokens, e a ausência de regulamentações claras. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias de educação digital e design centrado no usuário para ampliar a adoção dessas tecnologias emergentes (Kim & Yang, 2024).

3.9 STARTUPS E AMBIENTES DE INOVAÇÃO

Startups são organizações temporárias orientadas à inovação, criadas para desenvolver modelos de negócio escaláveis e repetíveis em contextos de alta incerteza. Elas se caracterizam por estruturas enxutas, ciclos rápidos de desenvolvimento e forte orientação à experimentação. Segundo Kim e Yang (2024), startups desempenham papel central na transformação digital contemporânea, ao explorar tecnologias emergentes e desafiar modelos tradicionais de mercado com soluções disruptivas. Essas organizações geralmente se desenvolvem em ambientes de inovação, ecossistemas que reúnem universidades, centros de pesquisa, incubadoras, aceleradoras, investidores e empresas consolidadas. Esses ambientes oferecem suporte técnico, metodológico e financeiro para o desenvolvimento de ideias inovadoras, promovendo a colaboração entre diferentes atores e facilitando a transferência de conhecimento entre academia e mercado (Galli & Martinez, 2023).

A literatura destaca que ambientes de inovação são fundamentais para o surgimento e a consolidação de startups, pois oferecem acesso a infraestrutura, mentorias, redes de contato e oportunidades de validação de mercado. Além disso, esses ecossistemas favorecem a adoção de metodologias ágeis e participativas, como a pesquisa-ação, que permite o desenvolvimento iterativo de soluções com base em ciclos de diagnóstico, ação e reflexão (Thiollent, 2011; Miguel, 2007).

3.10 INOVAÇÃO

Inovação é um conceito central no desenvolvimento econômico, tecnológico e social, sendo amplamente discutido na literatura como a capacidade de transformar ideias em soluções que geram valor. De acordo com Galli e Martinez (2023), inovação pode ser entendida como a introdução de novos produtos, processos, modelos de negócio ou formas de organização que resultam em melhorias significativas em relação ao estado anterior. Essa definição abrange tanto inovações incrementais, que aprimoram soluções existentes, quanto inovações radicais, que rompem com paradigmas estabelecidos. No contexto da transformação digital, a inovação tecnológica tem se destacado como vetor de competitividade e adaptação organizacional. Tecnologias emergentes como *blockchain*, inteligência artificial, realidade aumentada e Internet das Coisas (IoT)

têm impulsionado novos modelos de interação, consumo e produção, exigindo das organizações uma postura mais ágil, experimental e centrada no usuário (Davies, Lin & Zhang, 2024). A inovação, nesse cenário, não se limita à criação de novas tecnologias, mas envolve também a capacidade de as integrar de forma estratégica e alinhada às necessidades do mercado.

Destaca-se também a importância da cultura organizacional e da colaboração interinstitucional como fatores críticos para o sucesso da inovação. Ambientes que promovem a experimentação, a tolerância ao erro e a aprendizagem contínua tendem a ser mais propensos à geração de soluções inovadoras (Mikheev et al., 2023). Além disso, a adoção de metodologias participativas, como a pesquisa-ação, tem se mostrado eficaz na implementação de inovações em contextos complexos e dinâmicos, ao permitir ciclos iterativos de diagnóstico, ação e reflexão (Thiollent, 2011).

3.11 VALIDAÇÃO DE TOKENS EM UMA BLOCKCHAIN

A validação de tokens em uma *blockchain* é um processo fundamental para garantir a autenticidade, unicidade e rastreabilidade de ativos digitais. Tokens são representações digitais de valor ou propriedade que podem ser fungíveis (como criptomoedas) ou não fungíveis (NFTs). A validação ocorre por meio de mecanismos criptográficos e contratos inteligentes, que asseguram que cada transação envolvendo um token seja registrada de forma imutável e auditável em um livro-razão distribuído (Ethereum Foundation, 2025). No caso dos tokens não fungíveis, a validação envolve a verificação de atributos únicos associados a um ativo digital, como metadados, histórico de propriedade e integridade do conteúdo. Esses dados são armazenados na *blockchain* ou em sistemas complementares, como soluções de armazenamento descentralizado. A imutabilidade da *blockchain* garante que, uma vez registrado, o token não possa ser alterado ou duplicado, o que é essencial para aplicações que exigem autenticidade, como arte digital, certificados, ingressos e identidade digital (Davies, Lin & Zhang, 2024).

A execução da validação é geralmente automatizada por contratos inteligentes, que são programas autoexecutáveis armazenados na *blockchain*. Esses contratos definem as regras para emissão, transferência e verificação dos tokens, eliminando a necessidade de intermediários e aumentando a confiabilidade

do sistema. Conforme destacado pela Ethereum Foundation (2025), “os contratos inteligentes permitem que as regras de validação sejam aplicadas de forma transparente e segura, sem intervenção humana”. Além disso, a validação de tokens pode ser integrada a processos físicos por meio de soluções *Phygital*, nas quais a posse de um token digital é vinculada a um objeto ou ação no mundo real. Essa integração amplia as possibilidades de uso da *blockchain* em setores como logística, varejo e entretenimento, ao permitir a rastreabilidade e a automação de processos com base em ativos digitais únicos (Davies et al., 2023).

4 APLICAÇÃO PRÁTICA NA STARTUP INFINITY WEB)

A aplicação prática das tecnologias analisadas neste trabalho foi conduzida por meio de uma abordagem de pesquisa-ação, compatível com o ambiente dinâmico e experimental de startups. A Infinity Web3, startup incubada no ecossistema acadêmico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Centro Tecnológico, de ciências Exatas e Educação Blumenau, foi escolhida como objeto de estudo por reunir os elementos centrais da investigação: inovação tecnológica, aplicação de soluções *Phygital* e integração com a blockchain. Este capítulo marca a transição entre a fundamentação teórica e a execução prática da pesquisa, conforme estruturado na metodologia deste trabalho. A primeira etapa consistiu na consolidação conceitual do termo *Phygital*, elaborada a partir da revisão sistemática de literatura realizada em bases acadêmicas como Science Direct e Scopus. Em seguida, foram identificadas as vantagens, aplicações e barreiras associadas à tecnologia *Phygital*, com base na análise crítica dos artigos selecionados. Com essas bases teóricas, partiu-se para o estudo dos benefícios da integração do *Phygital* com a *blockchain*, observando sua aplicabilidade prática nos campos da rastreabilidade, interoperabilidade e segurança digital. Esse estudo serviu de suporte para o desenvolvimento do estudo de caso prático com a Infinity Web3, no qual foi proposta, testada e aprimorada uma solução baseada em uma experiência *Phygital* integrada à *blockchain*, conforme as etapas do ciclo da pesquisa-ação.

A UFSC Blumenau, fundada em 2013, tem se destacado pelo seu crescimento acadêmico e pela atuação em inovação tecnológica na região. Dentro desse ecossistema está inserido o LabTEI (Laboratório de Tecnologia, Empreendedorismo e Inovação), espaço dedicado ao fomento de ideias inovadoras no campus. Foi nesse ambiente que nasceu a Infinity Web3, idealizada por estudantes com base em pesquisas e experiências aplicadas. A startup rapidamente se posicionou como agente de inovação ao propor soluções que unem o mundo físico ao digital por meio da tecnologia *blockchain*, tendo como referência os conceitos analisados nos capítulos anteriores. A implementação prática da solução, o projeto BeerTap, representa a etapa de aplicação da metodologia, na qual os conhecimentos adquiridos na literatura foram adaptados à realidade da Infinity. Posteriormente, foram coletados dados e feedbacks durante testes reais

com usuários, permitindo realizar a avaliação das melhorias obtidas com base nos achados práticos e nas propostas teóricas discutidas. Essa estrutura assegura o alinhamento entre os objetivos específicos da pesquisa, a fundamentação teórica e as atividades desenvolvidas em campo, consolidando uma abordagem metodológica coerente e aplicável para futuras replicações em contextos similares.

4.1 FUNDAÇÃO E EVOLUÇÃO DA INFINITY WEB3

A Infinity Web3 foi fundada em 2022 por Samuel Schramm Meurer e Vitor Luís Babireski Fúrio, ambos alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, de ciências Exatas e Educação Blumenau. A criação da startup ocorreu em um ambiente de efervescência tecnológica e acadêmica, onde a integração entre o mundo físico e o digital começava a ser explorada com maior intensidade, especialmente por meio da tecnologia *blockchain*. Motivados pela vontade de criar soluções práticas e disruptivas, os fundadores decidiram explorar o potencial da *blockchain* para solucionar problemas reais. O primeiro projeto da Infinity foi desenvolvido em parceria com a Oktoberfest Blumenau, um dos maiores eventos culturais do Brasil. A startup criou uma coleção de NFTs com o objetivo de oferecer experiências únicas e agregar valor aos visitantes. Embora esse projeto inicial tenha sido de pequeno porte, ele foi essencial para que a equipe identificasse uma lacuna no mercado: muitos tokens digitais eram criados sem utilidade prática, enquanto o potencial da *blockchain* era subaproveitado para aplicações no mundo físico. Meurer e Fúrio (2022) relatam que a experiência na Oktoberfest serviu como um laboratório vivo para testar ideias e entender as possibilidades da tecnologia.

A formação acadêmica de Samuel e Vitor foi crucial nesse processo inicial. A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) forneceu uma base sólida de conhecimento técnico, enquanto o Laboratório de Tecnologia, Empreendedorismo e Inovação (LABTEI) desempenhou um papel fundamental ao oferecer suporte para a estruturação da ideia. O programa IdeAção, uma iniciativa do LABTEI, visava orientar alunos a transformarem ideias inovadoras em negócios estruturados. Utilizando metodologias como o Effectuation, o IdeAção ajudou a Infinity a explorar possibilidades de inovação com recursos limitados. Durante essa fase inicial, a Infinity participou de eventos como a Feira de Inovação e Empreendedorismo do

Vale Europeu, onde apresentou um dispositivo verificador de tokens baseado em blockchain. A Figura 7 ilustra o protótipo desenvolvido, que permite a validação de tokens digitais para acesso a espaços físicos, exemplificando a aplicação prática das soluções *Phygital* da startup.

Figura 7 - Primeiro mecanismo *phygital* desenvolvido pela Infinity Web3.



Fonte: Meurer e Fúrio (2023)

O dispositivo foi premiado em primeiro lugar na categoria universitária, servindo como validação da proposta da empresa. Em seguida, a Infinity participou do programa de pré-incubação “Nascer”, oferecido pela FAPESC em parceria com o Centro de Inovação de Blumenau, que auxiliou na estruturação do modelo de negócios e planejamento estratégico. Em 2023, Vitor Fúrio se desligou da startup, e Samuel Meurer formou uma nova equipe com Andrei Erhardt (autor deste trabalho) e Marcos Gaius. A equipe adotou uma abordagem estratégica para reestruturação da empresa, equilibrando projetos comerciais em tecnologia web2 e desenvolvimento contínuo das soluções *Phygital* com *blockchain*.

Figura 8 - Etapa inicial da Infinity Web3 até a reestruturação do time



Fonte: O Autor

A Figura 8 apresenta, de forma cronológica e visual, os principais marcos da trajetória da Infinity Web3 desde sua fundação. Em 2022, ocorreu a criação da startup dentro do ecossistema da UFSC Blumenau, por dois alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação. Ainda no mesmo ano, a empresa participou de seu primeiro projeto piloto, aplicando a tecnologia *blockchain* em um evento cultural de grande porte: a Oktoberfest Blumenau. Essa experiência inicial foi fundamental para validar a proposta de criar soluções digitais aplicáveis a contextos físicos. Em 2023, a equipe desenvolveu um dispositivo verificador de tokens, que marcou a primeira aplicação prática da proposta *Phygital* da empresa, permitindo a validação de ativos digitais em ambientes físicos. Esse protótipo foi apresentado em feiras de inovação, conquistando reconhecimento acadêmico e empresarial. No mesmo ano, a equipe da Infinity passou por uma reestruturação, com a entrada de

novos membros e a reformulação da estratégia da empresa, consolidando-se como uma startup orientada à integração entre experiências físicas e digitais com apoio da tecnologia *blockchain*.

Com um MVP (Mínimo Produto Viável) em mãos a Infinity Web3 começou a buscar exposição para além dos olhares regionais, que até então era onde estava posicionada. Daí começa a fase de inscrição em editais, feiras, exposições e eventos. E um dos eventos de maior impacto para o setor de tecnologia é o Web Summit, o maior evento de tecnologia do Brasil e um dos maiores no mundo, que no ano de 2024 seria no Rio de Janeiro, e é claro, como visto nas

Figura 9 e

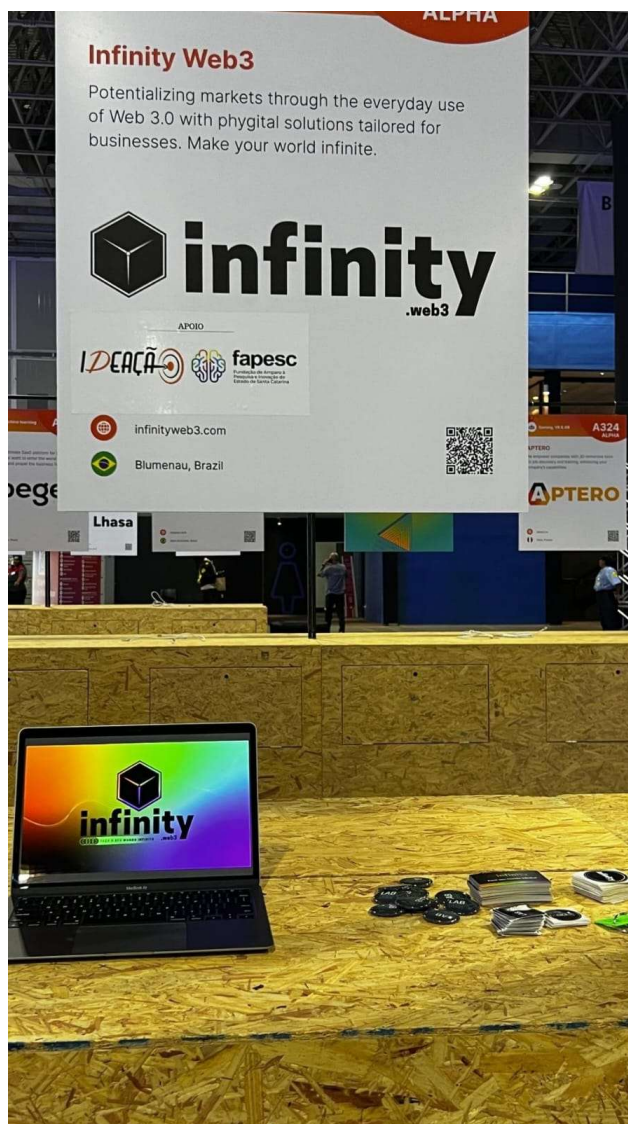
Figura 10 a Infinity Web3 não deixou de comparecer, graças ao apoio e fomento do LabTEI.

Figura 9 - Sócios Infinity Web3 (Andrei, Samuel e Marcos) durante o WebSummit Rio



Fonte: O autor

Figura 10 - Stand de apresentação Infinity Web3 no WebSummitRio



Fonte: O autor

O produto foi apresentado no Web Summit Rio, onde a Infinity havia sido selecionada como Startup Alpha, ou seja, foi uma das Startups inscritas que ganharam o direito de expor a sua tecnologia em um dos dias do evento. Outro evento importante que a Infinity Web3 participou como convidada, após ter sido notada pela Cartesi durante o Web Summit, foi o *hackathon* da Cartesi, e foi aí, que o projeto mais promissor para a Infinity Web3 teve início.

4.2 O PROJETO

O Hackthon da Cartesi teve como proposta: Desenvolver tecnologias que pudessem se conectar com a *Blockchain* da Cartesi e propor alguma inovação

comercial durante o período de uma semana, onde ao final cada equipe deveria fazer apresentar a sua ideia que seria avaliada e poderia concorrer a premiações em dinheiro. Os convidados foram Startups de tecnologia que estivessem conectados com a tecnologia Web3.

A infinity Web3 estava no ecossistema ideal, uma vez que o core da empresa é a tecnologia associada à *blockchain*. Bastava apenas descobrir o que fazer, e como parte do processo de criação de toda empresa, durante o primeiro dia do hackthon o time da Infinity Web3 se reuniu para o *brainstorming* e em questão de pouco mais de duas horas já havia desenhado o caminho que iria seguir.

Uma vez que a empresa está situada em Blumenau, cidade que carrega o título de “Capital Nacional da Cerveja”, o mais coerente tanto para negócios quanto para a empresa, foi desenvolver algum produto que pudesse fazer proveito da tecnologia que a Infinity Web3 já dispunha com o tema da cerveja, muito forte na cidade. Foi assim que nasceu a Beertap, Figura 11, uma chopeira que tem conexão com a *blockchain*, da Cartesi, e o mundo real, ou seja, um produto *phygital*.

Figura 11 - Primeira proposta comercial da BeetTap durante o *hackathon* Cartesi



Fonte: O autor

4.2.1 SURGIMENTO DA BEERTAP

Como todo projeto de inovação, é necessário que haja um problema a ser resolvido: Como incorporar a tecnologia da *blockchain* da Cartesi a um produto *phygital* funcional?

Apesar de seu potencial inovador, a tecnologia *blockchain* ainda enfrenta obstáculos significativos para sua adoção em larga escala. A promessa de transparência, descentralização e segurança aprimorada tem levado diversos setores a explorarem essa tecnologia como solução para problemas de confiança, rastreabilidade e eficiência. No entanto, sua implementação prática encontra barreiras importantes, como evidenciado na Figura 12.

Desafios centrais para o uso disseminado do *blockchain* incluem:

- Questões de segurança: Embora a *blockchain* ofereça mecanismos robustos de proteção contra fraudes e alterações de dados, ainda existem vulnerabilidades em suas camadas de aplicação e integração com sistemas externos.
- Problemas de escalabilidade: As redes *blockchain* muitas vezes enfrentam dificuldades em lidar com grandes volumes de transações, resultando em lentidão e altos custos operacionais.
- Ausência de experiências tangíveis: Para o usuário final, a *blockchain* ainda é vista como uma tecnologia abstrata e pouco palpável, o que dificulta sua aceitação e compreensão em contextos do dia a dia.

Esses desafios são representados no conhecido “trilema da *blockchain*”, que ilustra a dificuldade de alcançar simultaneamente três pilares fundamentais: descentralização, segurança e escalabilidade. Normalmente, otimizar dois desses fatores compromete o terceiro.

Diante desse cenário, surge a questão central desta pesquisa:

Como popularizar a tecnologia *blockchain* e tornar mais palpável para o cotidiano das pessoas de forma segura e prática?

Responder a essa pergunta implica compreender não apenas os avanços tecnológicos, mas também as limitações atuais e as formas de superá-las por meio de abordagens que unam inovação e aplicabilidade, como o uso de soluções *Phygital*.

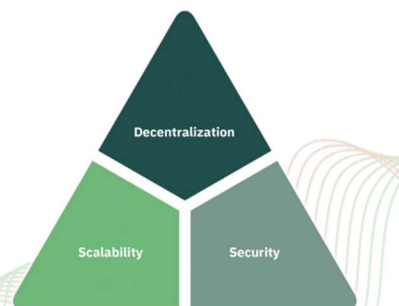
Figura 12 - Problema levantado durante o *hackathon* Cartesi

Potencial da Blockchain

- **Impacto inovador:** Blockchain pode fundamentalmente mudar indústrias
- **Benefícios chave:** Transparência, Descentralização, Segurança aprimorada.

Desafios para o uso generalizado:

- **Problemas de segurança**
- **Problemas de escalabilidade**
- **Falta de experiências tangíveis**



Pergunta chave:

Desafio principal: Como podemos levar a tecnologia blockchain para a vida cotidiana das pessoas de forma segura e prática?



Fonte: O autor

Vale relembrar que, como abordado no capítulo 2.4, a pesquisa-ação é caracterizada por sua natureza cíclica e participativa, promovendo ciclos contínuos de planejamento, ação, observação e reflexão. Essa metodologia é particularmente adequada a ambientes inovadores, como startups, onde soluções são testadas, ajustadas e aplicadas conforme aprendizados práticos e feedbacks do mercado e pode ser observado a aplicação dessa metodologia pela Infinity Web3 durante o *hackathon* Cartesi.

No contexto deste trabalho, a BeerTap foi escolhida como estudo de caso por reunir características centrais à integração entre *Phygital* e *blockchain*, sendo:

- Um dispositivo físico que interage com sistemas digitais;
- Integrado à validação por NFTs e contratos inteligentes;
- Alvo de adaptações técnicas orientadas pela experiência do usuário.

Assim, a abordagem metodológica buscou observar, analisar e propor melhorias sobre a solução, com base em ciclos iterativos de aprendizado, conforme estrutura representada na Tabela 6.

Tabela 6 - Ciclo metodológico da pesquisa-ação aplicada à solução BeerTap

Etapa	Descrição
Diagnóstico	Identificação como integrar a solução que a InfinityWeb3 já tinha com o objetivo proposto pela Cartesi.
Planejamento	Proposição de integração entre o objetivo do <i>hackathon</i> (integrar um produto/serviço à <i>blockchain</i> da Cartesi) com o escopo do tema escolhido pela Infinity (algo relacionado ao contexto regional de cervejarias).
Ação	Implementação prática da tecnologia que a Infinity domina de (Integração e interação da <i>blockchain</i> com o mundo físico)
Observação	Coleta de dados qualitativos e quantitativos sobre o desempenho da solução, usabilidade e feedback de usuários e stakeholders.
Avaliação	Análise dos dados coletados para mensurar a eficácia da solução em relação aos objetivos estabelecidos.
Reflexão	Análise dos resultados obtidos, identificação de impactos e definição de novos ajustes para realimentação do ciclo.

Esse modelo de pesquisa contribui para validar as hipóteses teóricas levantadas no capítulo 1, especialmente no que tange aos benefícios da integração entre *Phygital* e *blockchain*, as barreiras enfrentadas e as estratégias de superação. Além disso, permite gerar conhecimento aplicado que pode ser replicado em outras startups ou setores interessados em adotar essas tecnologias emergentes, como indicado por Thiollent (2011) e Tripp (2005), cujas abordagens sustentam a relevância prática da pesquisa-ação em contextos organizacionais.

4.2.2 SOLUÇÃO PROPOSTA

A partir do desafio proposto no *hackathon* da Cartesi e do contexto prático da Infinity Web3, a solução proposta, estruturada na Figura 13, baseou-se na integração de múltiplas tecnologias, reconhecimento facial, carteiras digitais e validação em *blockchain*, com foco em criar uma experiência *Phygital* fluida, segura e funcional. A proposta foi uma chopeira automatizada, denominada BeerTap, que só libera a bebida mediante autenticação digital validada por meio da *blockchain* Cartesi.

Figura 13 - Desafio de projeto e solução proposta pela Infinity Web3 para o *hackathon* Cartesi

Desafio enfrentado:

- **Objetivo:** Integrar tecnologia avançada à vida diária de forma integrada e segura.

Solução desenvolvida:

- **Objetivo:** Integrar tecnologia avançada à vida cotidiana de forma integrada e segura.
- **Registro de Usuário - Face e Carteira:** Os usuários registram suas carteiras Face e Blockchain por meio de um aplicativo.
- **Processo de Utilização:**
 - Interação simples: Os usuários se apresentam ao distribuidor.
 - Requisito de ficha: A cerveja é servida se o usuário tiver a ficha necessária na carteira.

Benefícios da integração:

- **Experiência fluida:** Tecnologia avançada integrada de forma intuitiva.
- **Interação agradável:** O processo foi projetado para ser agradável e direto para os usuários.



Fonte: O autor

O sistema parte do princípio de que o usuário deve estar previamente registrado, associando sua identidade facial e sua carteira digital por meio de um aplicativo para smartphones desenvolvido pela própria equipe da Infinity. Esse cadastro cria um token de identidade interligado à carteira *blockchain*, permitindo o reconhecimento no momento do uso.

O funcionamento é simples e intuitivo: o usuário se aproxima do dispositivo, sua face é reconhecida e a BeerTap consulta automaticamente sua carteira para verificar se há uma ficha de consumo válida. Caso positivo, a bebida é liberada. Caso não haja ficha associada, o sistema impede o uso, promovendo assim rastreabilidade, controle de acesso e segurança em tempo real. Essa lógica automatizada garante confiabilidade ao processo, evitando fraudes e dispensando intervenção humana.

Os benefícios observados na integração dessa solução foram:

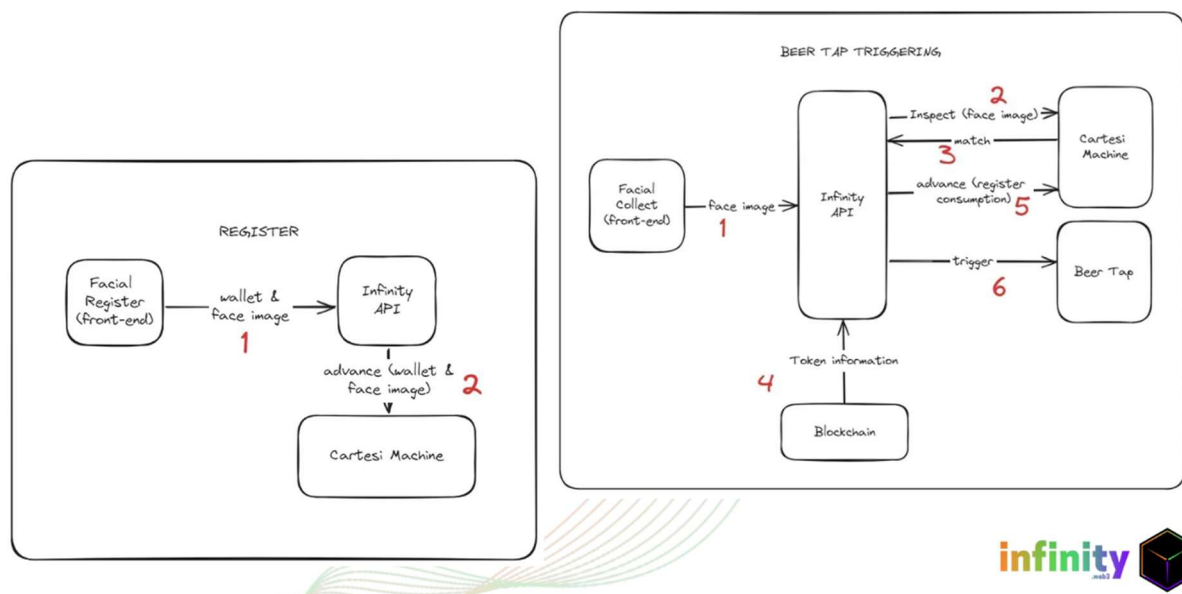
- **Experiência fluida:** O processo de autenticação e liberação do produto ocorre sem atrito perceptível para o usuário, como demonstrado durante os testes e prototipagens realizadas no *hackathon*.

- Interação agradável: Toda a jornada foi pensada para ser intuitiva, responsiva e direta, promovendo uma experiência positiva desde o cadastro até a utilização final da BeerTap.
- Segurança e confiabilidade: A validação em *blockchain* garante que apenas usuários autorizados possam consumir o produto, reduzindo riscos e ampliando o controle.

A Figura 14 apresentando dois fluxos operacionais principais: o de registro e o de acionamento da BeerTap. No lado esquerdo do fluxograma, está representado o processo de registro do usuário. Inicialmente, o usuário realiza o cadastro por meio de um sistema de reconhecimento facial, cujo front-end coleta a imagem e a vincula à sua carteira digital. Esses dados são enviados para a API (Interface de Programação de Aplicações) da Infinity, que então repassa a informação para a Cartesi Machine, onde será armazenada de forma segura e descentralizada.

No lado direito, está o fluxo de utilização da BeerTap. Nesse momento, o sistema realiza uma nova coleta facial, que é enviada à API da Infinity. A imagem é então inspecionada e comparada com os dados previamente armazenados na Cartesi Machine. Se houver correspondência, o sistema avança, consulta a *blockchain* para obter os dados do token e, caso um token válido esteja presente, registra o consumo e aciona a liberação da bebida pela BeerTap. Esse encadeamento técnico não apenas assegura a integridade dos dados e o controle de acesso em tempo real, como também oferece uma experiência fluida e segura ao usuário final, integrando os conceitos centrais da experiência *Phygital*.

Figura 14 - Fluxogramas de registro e acionamento da BeerTap.



Fonte: O autor.

A arquitetura da solução destaca os principais pontos de integração entre físico e digital, com ênfase na validação “tokenizada” e na experiência do usuário como centro do projeto.

Aqui vale observar a correspondência direta com as etapas do ciclo da pesquisa-ação. O *diagnóstico* foi realizado nos momentos iniciais do *hackathon*, quando a equipe da Infinity Web3 identificou a necessidade de criar uma solução que integrasse a *blockchain* da Cartesi a um produto físico relevante ao contexto regional. O *planejamento* ocorreu na definição da arquitetura do sistema, na qual foram especificadas as tecnologias a serem integradas (reconhecimento facial, carteira digital e *blockchain*). Essa estrutura confirma o início da natureza cíclica e iterativa da pesquisa-ação aplicada ao contexto de inovação tecnológica da Infinity Web3.

4.2.3 FASE PRÁTICA

A fase de ação, segundo a metodologia pesquisa-ação, corresponde ao momento em que as estratégias planejadas são efetivamente implementadas no ambiente real. Thiollent (2011) define a ação como a aplicação prática das decisões coletivas tomadas após um diagnóstico e planejamento participativo, permitindo que as hipóteses sejam testadas diretamente sobre o objeto de estudo. No caso da Infinity Web3, essa etapa se concretiza na construção funcional e execução prática

da solução BeerTap, consolidando os aprendizados e validações conceituais discutidos nas fases anteriores.

Como exibido no vídeo¹ de demonstração (BEER TAP by Infinity Web3. 2024), a solução desenvolvida põe em prática toda a estrutura arquitetada durante o *hackathon* Cartesi e aprofundada ao longo da fase de planejamento. O funcionamento do sistema é iniciado quando o usuário realiza a leitura de um QR Code afixado na estrutura da chopeira. Esse código o redireciona automaticamente para uma interface web mobile, onde é realizado o reconhecimento facial por meio da câmera do próprio celular. A imagem capturada é enviada à API da Infinity Web3, que a compara com os dados previamente registrados na Cartesi, verificando simultaneamente a posse de um token válido associado à carteira digital do usuário.

Se a validação for bem-sucedida, a BeerTap libera a bebida de forma automatizada, concluindo uma jornada que integra tecnologia *blockchain*, reconhecimento facial, validação por tokens e atuação física em um único fluxo contínuo. Essa integração é fiel à arquitetura definida anteriormente, e reforçada pelos fluxos técnicos descritos na Figura 12. A etapa de ação demonstra como é possível transformar soluções digitais descentralizadas em experiências físicas seguras, tangíveis e intuitivas. um desafio amplamente discutido no capítulo 3.5, quando se analisou a importância do UX nas soluções *Phygital*. Como defendido por Laptev e Shaytan (2024), "a combinação entre engajamento emocional e fluidez operacional é essencial para a adoção de soluções tecnológicas híbridas em ambientes físicos". O projeto BeerTap concretiza essa visão ao garantir uma experiência simplificada ao usuário, ao mesmo tempo em que preserva os níveis de rastreabilidade, controle e segurança proporcionados pela *blockchain*.

Além disso, a utilização infraestrutura da Cartesi, como discutido no capítulo 3.6, viabilizou a execução de lógica computacional off-chain sem abrir mão da confiança descentralizada. Isso possibilitou à BeerTap operar de forma mais leve e eficiente, superando os tradicionais gargalos de escalabilidade e tempo de resposta apontados no trilema da *blockchain*, Figura 4.

Assim, esta fase de ação evidencia não apenas a viabilidade técnica da proposta, mas também a relevância prática da integração entre *Phygital* e

¹ Link do vídeo: [infinity cartesi - YouTube](#)

blockchain, estabelecendo a base para as próximas etapas da pesquisa-ação: a observação, a reflexão e a avaliação com usuários reais em campo.

4.2.4 DIFERENCIAL COMERCIAL

Além da proposta técnica inovadora, o projeto BeerTap se destaca por seu diferencial estratégico: conectar a tecnologia *blockchain*, reconhecida por sua robustez em segurança e rastreabilidade, a uma interface física intuitiva e acessível ao público. Essa ponte entre o abstrato e o tangível proporciona um avanço significativo na experiência do usuário em contextos *Phygital*. Como destaca Banik e Gao (2023), “a integração fluida entre os mundos físico e digital é essencial para criar experiências emocionalmente significativas e envolventes, especialmente em ambientes onde a tecnologia, por si só, não é percebida como valor pelo usuário final”. No caso da BeerTap, a utilização de reconhecimento facial e validação automática elimina atritos comuns no consumo tradicional e promove confiança por meio da descentralização da informação.

Do ponto de vista de impacto, o modelo proposto pela Infinity Web3 também apresenta potencial de replicabilidade e escalabilidade em diversos setores, como eventos, hospitalidade e automação comercial. Segundo Davies, Lin e Zhang (2024), a capacidade de representar ativos físicos como NFTs e validar transações de forma descentralizada “abre novas oportunidades para criar experiências seguras, interoperáveis e rastreáveis em ambientes de alto volume de interação”. Esse aspecto se alinha diretamente com os objetivos da solução, que pretende transformar o modo como interações cotidianas são validadas, de forma prática, transparente e segura. Ao unir segurança, praticidade e inovação, o projeto se consolida como uma proposta de valor relevante tanto para o avanço acadêmico quanto para o ecossistema empreendedor, abrindo espaço para novas aplicações tecnológicas no mundo real.

Essa proposta se alinha diretamente com os fundamentos teóricos discutidos no capítulo 3, especialmente no que diz respeito à superação do trilema da escalabilidade da *blockchain*. Ao utilizar a infraestrutura da Cartesi, a solução BeerTap consegue descentralizar o processo de validação sem comprometer a experiência do usuário, operando com dados off-chain para garantir agilidade, conforme recomendado pela própria Ethereum Foundation (2025). Essa escolha

técnica evidencia um caminho viável para mitigar limitações comuns da *blockchain* pública, explorando estratégias híbridas já defendidas em literatura recente. Como analisado por Galli e Martinez (2023), “a adoção de tecnologias intermediárias, como camadas computacionais descentralizadas, permite integrar *blockchain* a aplicações com requisitos de experiência responsiva e validação contínua”. A Cartesi, nesse caso, atua como uma ponte entre os sistemas físicos e a lógica distribuída da Web3, viabilizando a proposta *Phygital* da Infinity Web3 sem abrir mão da segurança, rastreabilidade e escalabilidade. Assim, o projeto não apenas exemplifica a aplicabilidade das abordagens discutidas anteriormente, como também materializa uma das possíveis soluções para os entraves que ainda dificultam a adoção da *blockchain* em larga escala.

4.2.5 ENTREGA DO PROJETO

Ao final da semana de desenvolvimento do *hackathon* Cartesi, a Infinity Web3 realizou a apresentação oficial da BeerTap para os jurados. Embora não tenha sido classificada entre as três ideias vencedoras da competição, a startup saiu com um prêmio de valor inestimável: a validação prática de um produto *phygital* funcional que integra reconhecimento facial, tokens digitais e autenticação em *blockchain*. Esse momento marcou o encerramento da primeira grande etapa do ciclo da pesquisa-ação: a ação. A partir de então, a empresa avançaria para as fases de observação, reflexão e avaliação, fundamentais para aprimorar e adaptar a solução com base na interação real com o público.

Em busca dessa validação externa, a Infinity seguiu expondo o projeto em novos eventos de inovação. O convite seguinte veio do HackTown, um dos maiores festivais de tecnologia, criatividade e cultura do Brasil, realizado anualmente na cidade de Santa Rita do Sapucaí, em Minas Gerais. O evento reúne milhares de pessoas de todo o país, com forte presença de empreendedores, investidores e entusiastas da tecnologia, oferecendo o ambiente ideal para validar soluções emergentes e coletar feedbacks diversos.

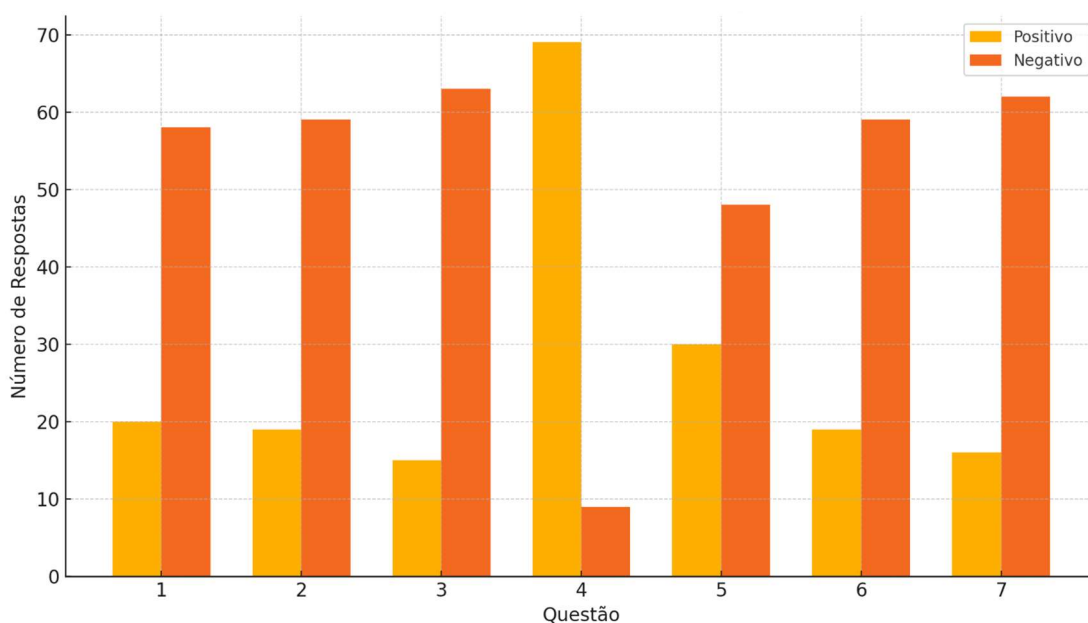
Durante o HackTown, a Infinity levou o protótipo funcional da BeerTap, organizou toda a operação por conta própria, montou a estrutura de demonstração e adquiriu os insumos necessários para que o público pudesse testar a tecnologia. Ao longo do dia, mais de 10 mil visitantes circularam pela área das startups, e 78

peças interagiram diretamente com a BeerTap e responderam a um questionário breve com feedbacks estruturados. O experimento consistia em uma instrução básica fornecida pela equipe, seguida de uma utilização autônoma da solução pelos visitantes. Ao término da interação, os usuários eram convidados a responder perguntas com base em sua experiência com o produto. Os dados coletados permitiram mapear os principais pontos de atrito e compreensão da tecnologia, apresentados na Tabela 7 e ilustrados na Figura 15.

Tabela 7 - Resultados do questionário com usuários durante o evento HackTown

Questão	Sim	Não
1. Sabiam o que era token	20	58
2. Sabiam utilizar o aplicativo	19	59
3. Usariam na sua própria empresa	15	63
4. Consideraram inovador e comprariam	69	9
5. Consideraram relevante ser seguro e em <i>blockchain</i>	30	48
6. Sabiam o que era carteira web3	19	59
7. Conheciam <i>blockchain</i>	16	62

Figura 15 - Gráfico do resultado do questionário da BeerTap - Hacktown



Fonte: O autor

Agrupando os dados e fazendo a análise, a maior deficiência identificada nos dados diz respeito ao baixo nível de familiaridade do público com os conceitos fundamentais da tecnologia Web3, especialmente tokens, carteiras digitais e *blockchain*. Por exemplo, 62 dos 78 entrevistados (quase 80%) declararam não ter conhecimento sobre *blockchain*, e 59 não sabiam o que era uma carteira digital. Além disso, 58 não sabiam que possuíam um token vinculado. Esses resultados reforçam o desafio mencionado por Kim e Yang (2024), que destacam a dificuldade de inserir a tecnologia Web3 em modelos de negócio com foco no usuário final devido à sua complexidade e baixa tangibilidade no cotidiano das pessoas.

Mesmo entre os que consideraram a solução inovadora (69 pessoas), apenas 30 atribuíram importância à segurança garantida por *blockchain*. Isso revela que, para o público geral, o valor agregado da *blockchain* ainda não é percebido como diferencial competitivo direto, uma constatação também alinhada ao que foi discutido no capítulo 3.5 sobre Experiência do Usuário (UX), onde foi ressaltado que a adoção tecnológica exige interfaces compreensíveis, propósito claro e valor percebido na experiência total. Além disso, um feedback recorrente, embora não capturado no questionário estruturado, foi verbalizado por diversos visitantes: “Não importa se é feito em *blockchain*, contanto que seja rápido, seguro e funcione bem.” Esse tipo de percepção reforça os argumentos de Laptev e Shaytan (2024), que ao explorarem o varejo de luxo phygital, apontam que a tecnologia deve ser invisível ao usuário final e servir à experiência, e não o contrário.

Assim, a fase de observação foi realizada com sucesso durante o evento, fornecendo dados reais e valiosos para a reflexão da equipe sobre como adaptar a comunicação, interface e estrutura tecnológica para ampliar o engajamento. A avaliação, por sua vez, começa a ser estruturada a partir destes dados, os quais guiarão os próximos ciclos de aprimoramento da BeerTap e suas futuras iterações.

4.2.6 LEVANTAMENTO ANALÍTICO E MODIFICAÇÕES

A fase de avaliação, dentro do ciclo da pesquisa-ação, representa o momento de analisar os resultados obtidos com base nos dados observados e refletidos anteriormente, gerando insumos que orientam novas decisões e ajustes. Essa etapa é crucial para consolidar aprendizados e, principalmente, dar início a um novo ciclo iterativo de aprimoramento, característica essencial da abordagem

pesquisa-ação, conforme discutido no capítulo 2.4. Com base nos dados coletados no Hacktown (ver item 4.2.5), a Infinity Web3 identificou uma clara barreira de entendimento e adesão do público à proposta baseada em tecnologias Web3, como *blockchain*, tokens e carteiras digitais. A percepção majoritária foi de que a experiência deveria ser simples, direta e transparente, independentemente da complexidade tecnológica envolvida. Isso motivou a equipe a revisar o conceito da BeerTap e buscar uma alternativa mais alinhada com o perfil e maturidade do consumidor atual.

Como resultado, a empresa optou por remover temporariamente a camada tecnológica baseada em Web3 da BeerTap e substituí-la por uma solução mais direta, baseada em tecnologia Web2. A nova versão passou a integrar uma API da Efy (<https://sejaefi.com.br/>), uma fintech brasileira especializada em soluções de meios de pagamento e automações financeiras. A Efy oferece uma infraestrutura que permite gerar cobranças por Pix, pagamentos instantâneos e integração com sistemas de controle, ideal para soluções de autoatendimento e vendas autônomas. Na nova versão da BeerTap, o usuário simplesmente escaneia um QR Code exposto no equipamento, o qual o direciona para uma página de pagamento com valor previamente definido pelo cliente (por exemplo, o valor de um copo de chope). O usuário efetua o pagamento via Pix e, após a confirmação automática da transação pela API da Efy, o sistema libera o consumo de chope de maneira fluida, sem a necessidade de registro facial, tokens ou conhecimento prévio sobre *blockchain*. Essa mudança representa um novo ciclo dentro da metodologia da pesquisa-ação. A avaliação dos dados obtidos até então gerou um novo diagnóstico: a necessidade de tornar a experiência mais acessível e compatível com o conhecimento tecnológico médio do público. O novo ciclo, portanto, se inicia com a fase de planejamento, agora com foco em integrar ferramentas de pagamento simples, comunicação clara com o usuário e testes rápidos de usabilidade.

A partir desse ponto, é possível projetar os próximos passos da Infinity com base no histórico das etapas anteriores. A equipe deverá realizar:

- Testes internos com a nova arquitetura para garantir a estabilidade da API de pagamento e da liberação automatizada da bebida;

- Exibições em novos eventos para coletar feedbacks qualitativos e quantitativos sobre a nova experiência do usuário;
- Comparações entre os dois modelos (Web3 vs. Web2) quanto à eficiência, aceitação e viabilidade de mercado;
- Reflexões sobre qual modelo atende melhor às diferentes jornadas de usuário, considerando tanto o público geral quanto nichos mais familiarizados com *blockchain*.

Ainda que essa nova abordagem não tenha sido testada com o mesmo rigor da anterior até o momento desta escrita, ela surge como um reflexo legítimo do aprendizado iterativo proporcionado pela metodologia da pesquisa-ação. Como apontam Thiollent (2011) e Tripp (2005), esse tipo de ciclo permite flexibilizar a inovação em função da realidade empírica vivenciada, mantendo a lógica experimental e adaptativa necessária em contextos de alta incerteza, como o das startups de base tecnológica.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E IMPACTOS DA INTEGRAÇÃO PHYGITAL COM BLOCKCHAIN

O presente trabalho teve como objetivo analisar o impacto da integração entre tecnologias *Phygital* e *blockchain*, por meio de um estudo de caso prático: o desenvolvimento da solução BeerTap, conduzido pela startup Infinity Web3. A partir da adoção da metodologia da pesquisa-ação, foi possível acompanhar todas as etapas do ciclo metodológico (diagnóstico, planejamento, ação, observação, avaliação e reflexão), conectando teoria e prática em um ambiente real de inovação tecnológica. A estrutura do trabalho foi desenhada de forma a atender aos objetivos específicos definidos na introdução. Em primeiro lugar, buscou-se conceituar o termo *Phygital*, explorando suas origens, evolução e implicações no contexto da transformação digital contemporânea. Isso foi alcançado por meio da revisão sistemática de literatura em bases como *Science Direct* e *Scopus*, resultando na seleção de 20 artigos relevantes. Os conceitos extraídos permitiram compreender o *Phygital* como uma convergência entre o mundo físico e o digital, com foco na criação de experiências integradas, imersivas e personalizadas (Galli & Martinez, 2023; Laptev & Shaytan, 2024).

Em seguida, o trabalho procurou identificar as vantagens, aplicações e barreiras da tecnologia *Phygital*. A literatura destacou seu impacto em setores como varejo, indústria e serviços, além das limitações relacionadas à usabilidade e à compreensão do público (Banik & Gao, 2023; Pangarkar et al., 2023). Esse diagnóstico foi validado na etapa prática, quando, durante o evento Hacktown, os usuários demonstraram dificuldade em compreender conceitos como “*blockchain*”, “*token*” e “*carteira Web3*”, o que indicou uma das maiores barreiras para a adoção da solução. O terceiro objetivo consistiu em analisar os benefícios da integração do *Phygital* com a *blockchain*, com base em pilares como rastreabilidade, segurança e interoperabilidade (Davies, Lin & Zhang, 2024). Durante o *hackathon* da Cartesi, foi concebido um sistema em que a validação da identidade era feita por reconhecimento facial vinculado a um token na *blockchain*, demonstrando na prática as possibilidades dessa integração. A análise evidenciou, no entanto, que essas potencialidades só se concretizam plenamente quando a complexidade técnica não interfere na experiência do usuário — o que levou à fase seguinte do ciclo da pesquisa-ação. Como quarto objetivo, propôs-se aplicar as tecnologias em

um estudo de caso prático. A solução BeerTap foi concebida e prototipada com base nas diretrizes extraídas da literatura e testada em eventos com usuários reais. Os testes revelaram pontos fortes (como a proposta inovadora e a fluidez da experiência) e fracos (como a dificuldade do público com os conceitos Web3), confirmando o valor da abordagem iterativa da pesquisa-ação. Por fim, o trabalho procurou avaliar as melhorias obtidas, o que se concretizou na última etapa do ciclo metodológico: a reformulação estratégica da solução, com a migração para uma arquitetura Web2, utilizando uma API da Efy para pagamento por Pix. Essa decisão foi fundamentada nos feedbacks do público e na análise crítica das limitações da abordagem inicial. Assim, o ciclo da pesquisa-ação se reinicia, com novas hipóteses e novos testes previstos para as próximas fases do projeto.

As principais contribuições deste trabalho estão tanto no campo acadêmico, ao oferecer um exemplo concreto da aplicação do ciclo da pesquisa-ação em projetos de inovação com tecnologias emergentes, quanto no campo prático, ao gerar um produto funcional testado em ambiente real. A análise de experiências, dados empíricos e feedbacks revelou aspectos críticos para o sucesso da adoção de tecnologias disruptivas: educação do usuário, simplicidade na interação, clareza na proposta de valor e adaptação ao estágio de maturidade tecnológica do público.

A partir das análises realizadas, também foram extraídas diretrizes que podem orientar a replicação de soluções similares em diferentes setores. Essas diretrizes surgem como ponto de apoio para startups e empresas que buscam implementar tecnologias emergentes de forma eficiente, evitando armadilhas comuns como o excesso de complexidade ou a desconexão com o perfil real dos usuários.

6 CONCLUSÃO

Este estudo confirmou o potencial transformador da integração entre *Phygital* e *blockchain*, demonstrando sua aplicação prática no desenvolvimento da BeerTap. A abordagem metodológica adotada, centrada na pesquisa-ação, permitiu acompanhar de forma iterativa e crítica a construção, teste e reestruturação da solução, promovendo uma compreensão profunda tanto das tecnologias envolvidas quanto de seu impacto na experiência do usuário. A partir da investigação conduzida neste trabalho, foi possível responder de forma clara às quatro perguntas de pesquisa propostas:

- **Sobre o conceito central da tecnologia *Phygital***, a revisão teórica e a análise prática permitiram compreendê-la como uma convergência entre o mundo físico e o digital, orientada à criação de experiências imersivas, integradas e personalizadas. Diferente de outras abordagens tecnológicas que operam em ambientes exclusivamente digitais ou físicos, o *Phygital* promove uma fusão entre esses universos, valorizando tanto a interação sensorial quanto os dados digitais em tempo real.
- **Quanto às aplicações mais promissoras do *Phygital***, os setores de varejo, entretenimento e indústria se destacaram na literatura e foram corroborados na prática com o caso da BeerTap. A escalabilidade dessas soluções depende de fatores como simplicidade da interface, adequação à cultura do usuário e integração com sistemas já existentes. O uso de dispositivos físicos conectados a ambientes digitais permite desde ações promocionais até controle logístico automatizado.
- **Sobre os benefícios da integração entre *blockchain* e *Phygital***, a pesquisa demonstrou avanços em rastreabilidade, segurança e personalização. No caso da BeerTap, a associação entre tokens digitais e o ato físico de servir chope exemplificou como a *blockchain* pode registrar, validar e garantir a integridade de interações físicas. No entanto, a experiência do usuário mostrou que tais ganhos só são percebidos quando a complexidade técnica é abstraída, reforçando a importância de um design centrado no usuário.

- **Por fim, em relação às barreiras técnicas, econômicas e sociais**, o estudo empírico revelou que a baixa familiaridade do público com conceitos como tokens, carteiras digitais e *blockchain* é um dos principais entraves para adoção. Além disso, o custo de implementação e a ausência de incentivos à inovação dificultam a disseminação dessas soluções, sobretudo em realidades como a brasileira. Estratégias como simplificação da interface, uso de APIs mais acessíveis (como a migração parcial para Web2 via Pix) e educação tecnológica foram apontadas como caminhos para superação desses obstáculos.

A partir das análises realizadas com as informações que a Infinity obteve durante a elaboração do projeto e aplicação da metodologia pesquisa-ação, foram extraídas diretrizes que podem orientar a replicação de soluções similares em diferentes setores. Essas diretrizes surgem como ponto de apoio para startups e empresas que buscam implementar tecnologias emergentes de forma eficiente, evitando armadilhas comuns como o excesso de complexidade ou a desconexão com o perfil real dos usuários.

Tabela 8 - Diretrizes para replicabilidade

Diretriz	Descrição
Simplicidade na interação	Usar interfaces acessíveis (ex.: QR code) para minimizar atritos.
Interoperabilidade	Adotar padrões abertos de hardware e software.
Validação híbrida	Equilibrar processos <i>on-chain</i> e <i>off-chain</i> para otimizar desempenho.
Feedbacks imediatos	Utilizar sinais visuais e auditivos para guiar a experiência do usuário.
Escalabilidade modular	Desenvolver soluções ajustáveis a diferentes contextos.
Engajamento gradual	Introduzir funcionalidades avançadas por etapas, conforme a maturidade do usuário.

Ao longo do estudo, emergiram lições importantes: a tecnologia não é suficiente por si só; é essencial alinhar inovação às reais necessidades dos usuários. Também ficou claro que abordagens iterativas e ajustáveis são fundamentais em contextos de inovação acelerada, e que a experiência de uso, mais do que a sofisticação técnica, é o principal fator para a aceitação. Dentre as

propostas para trabalhos futuros, destacam-se: (i) o estudo de jornadas educacionais sobre *blockchain* e Web3; (ii) o comparativo entre soluções Web2 e Web3; (iii) o desenvolvimento de frameworks híbridos; (iv) a adaptação do modelo para outros setores econômicos; e (v) o acompanhamento longitudinal da evolução dos usuários em ambientes digitais.

Este trabalho, portanto, contribui tanto teoricamente quanto na prática: avança o conhecimento sobre integração de tecnologias emergentes, propõe diretrizes replicáveis e exemplifica como a Engenharia de Controle e Automação pode atuar na criação de soluções que conectam o físico ao digital de forma eficiente, segura e orientada ao usuário.

REFERÊNCIAS

- BANIK, Shanta; GAO, Yongqiang. Exploring the hedonic factors affecting customer experiences in phygital retailing. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 70, p. 103147, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2022.103147>
- BEER TAP by Infinity Web3. **Demonstração do sistema Phygital no hackathon Cartesi**. YouTube, 1 jun. 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X7FYmyQyJg>. Acesso em: 2 maio 2025.
- DAVIES, C.; LIN, J.; ZHANG, Y. *Non-fungible tokens: The missing ingredient for sustainable supply chains in the metaverse age?* **International Journal of Logistics**, v. 55, n. 3, p. 210–230, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103412>
- DEL VECCHIO, P.; SECUNDO, G.; GARZONI, A. Phygital technologies and environments for breakthrough innovation in customers' and citizens' journey: A critical literature review and future agenda. **Journal of Innovation Studies**, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122342>
- DELOITTE. *Tech Trends 2023: Elevating the enterprise with emerging technology*. **Deloitte Insights**, 2023. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends/2023/immersive-internet-enterprise.html>. Acesso em: 8 abr. 2025.
- ETHEREUM FOUNDATION. *Ethereum Whitepaper*. Disponível em: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>. Acesso em: 2 maio 2025.
- GALLI, A.; MARTINEZ, L. *Phygital technologies and environments for breakthrough innovation in customers' and citizens' journey: A critical literature review and future agenda*. **Journal of Innovation Studies**, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122342>
- IBM. *Blockchain explained*. IBM, 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/blockchain>. Acesso em: 2 maio 2025.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 9241-112:2023: Ergonomics of human-system interaction — Part 112: Principles for the presentation of information*. Geneva: ISO, 2023. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/77520.html>. Acesso em: 12 maio 2025.
- KIM, S.; YANG, W. *User-centric business model in the phygital age*. **Journal of Business Research**, v. 78, p. 145–160, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.134>
- LAPTEV, P.; SHAYTAN, Y. *Exploring phygital omnichannel luxury retailing for immersive customer experience: The role of rapport and social engagement*. **Luxury Marketing Review**, v. 32, n. 5, p. 45–58, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2022.103001>

MEURER, S.; FÚRIO, V. *Infinity – Experiências físico-virtuais a partir da Blockchain*. Palestra. Universidade Federal de Santa Catarina – campus Blumenau, 2024.

MIGUEL, P. A. C. *Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução*. *Produção*, v. 17, n. 1, p. 216–229, jan./abr. 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/3967/396742029015.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

MIKHEEV, I.; IVANOV, K. *The interaction model within phygital environment as an implementation of the open innovation concept*. **Open Innovation Journal**, v. 45, n. 7, p. 89–105, 2023. <https://doi.org/10.3390/joitmc7020114>

PANGARKAR, R.; ARORA, K.; SHUKLA, M. *Industrial prototyping in the German automotive industry: Bridging the gap between physical and virtual prototypes*. **Engineering and Prototyping Journal**, v. 10, n. 2, p. 500–520, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2024.101798>

PRESSMAN, A. *Starbucks continues to use Phygital to make things easier for customers*. LinkedIn, 2024. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/starbucks-continues-use-phygital-make-things-easier-adam-pressman/>. Acesso em: 25 abril 2025.

RETAIL TECHNOLOGY. **Nike concept store gets Phygital**. **Retail Technology**, 2023. Disponível em: <https://www.retailtechnology.co.uk/news/6745/nike-concept-store-gets-phygital/>. Acesso em: 25 abril 2025.

ROMERO, T.; BRADLEY, J. *Web 10: Exploring the involvement-patronage link in the phygital retail experiences*. **Retail & Digital Innovation Journal**, v. 20, p. 115–128, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102739>

SMITH, R.; TAYLOR, C. *Brand competitiveness and resilience to exogenous shock: Usage of smartphone apps during the COVID-19 pandemic*. **Brand Management Review**, v. 12, n. 8, p. 220–240, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103453>

YU, H.; WANG, L. *Exploring the involvement-patronage link in the phygital retail experiences*. **Retail Marketing Journal**, v. 27, n. 3, p. 95–110, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102739>