

# MedChain: Certificação Descentralizada e Rastreável de Trajetórias Profissionais na Área da Saúde

## MedChain: Decentralized and Traceable Certification of Professional Trajectories in Healthcare Sector

**Rafael Augusto Penna dos Santos**

<https://orcid.org/0000-0001-6775-7241>

Doutor em Educação em Ciências. Universidade Federal do Rio Grande (FURG) – Brasil. rapennas@gmail.com.

**Alexandre Moraes Ramos**

<https://orcid.org/0000-0002-3070-9075>

Doutor em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Brasil. alexandre.m.r@ufsc.br

### RESUMO

Este trabalho apresenta o MedChain, sistema proposto para gerenciar a trajetória profissional na área da saúde. Apesar dos avanços das soluções digitais, a literatura ainda aponta uma lacuna relacionada à certificação integrada e rastreável de trajetórias profissionais completas, especialmente nesse setor. A proposta utiliza blockchain, identidades descentralizadas (DIDs) e armazenamento distribuído (IPFS) para oferecer um ambiente seguro, auditável e imutável. O artigo apresenta testes realizados em ambiente simulado com dados baseados em duas universidades brasileiras, cujos resultados indicam potencial para ampliar a agilidade dos processos de certificação, fortalecer a segurança das informações e mitigar riscos de fraude quando comparado aos métodos tradicionais. A plataforma foi concebida para facilitar a integração com sistemas institucionais existentes e favorecer sua escalabilidade em contextos universitários. Como contribuição, o trabalho propõe um modelo descentralizado que amplia o escopo da certificação digital ao integrar diferentes tipos de registros profissionais em uma única estrutura auditável. Como limitação, destacam-se a ausência de validação em ambientes reais e os desafios relacionados à adaptação institucional.

**Palavras-chave:** blockchain; trajetória profissional; certificação digital; identidades descentralizadas; universidades públicas.

### ABSTRACT

This paper presents MedChain, a system proposed for managing professional trajectories in the healthcare sector. Despite advances in digital certification solutions, the literature still reveals a gap regarding the integrated and traceable certification of complete professional trajectories, especially in healthcare. The proposed system leverages blockchain, decentralized identities (DIDs), and distributed storage to provide a secure, auditable, and immutable environment. The study presents tests conducted in a simulated environment using data based on two Brazilian universities, whose results indicate the potential to improve the agility of certification processes, strengthen information security, and mitigate fraud risks when compared to traditional methods. The platform was designed to facilitate integration with existing institutional systems and to support scalability in university contexts. As a contribution, this study proposes a decentralized model that extends digital certification by integrating different types of professional records into a single auditable structure. As a limitation, the study has not yet been validated in real-

world environments and still faces challenges related to institutional adaptation.

**Keywords:** blockchain; professional trajectory; digital certification; decentralized identities; public universities.

Recebido em 28/07/2025. Aprovado em 27/03/2026. Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da ABNT.  
<https://doi.org/10.22279/navus.v18.2173>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, diversas transformações digitais têm ocorrido em diferentes setores da sociedade. Processos que antigamente eram feitos de forma manual e demorada, passaram a ser realizados de maneira automática ou semiautomática, diminuindo significativamente o tempo de resposta, o que contribui para maior eficiência. Além da agilidade, essas transformações também geraram impacto em aspectos como a segurança e a interoperabilidade dos processos (Brennen e Kreiss, 2016; Henriette, Feki e Boughzala, 2015; Verhoef *et al.*, 2021).

Em áreas como a saúde e educação não foi diferente. Prontuários médicos passaram do papel para computadores e aplicativos móveis, possibilitando mais organização, disponibilidade e segurança das informações (Agbo, Mahmoud e Eklund, 2019). Outro exemplo de transformação digital na saúde é a telemedicina, que se tornou popular a partir da pandemia da COVID-19, permitindo que médicos e pacientes pudessem ter consultas por videoconferência, sem a necessidade do contato físico, para alguns casos mais simples (WHO, 2020). Na educação, diversos são os exemplos de sistemas que modificaram os processos de ensino e aprendizagem. Ambientes virtuais de aprendizagem, sistemas de agendamento, de avaliação e disponibilização de material e notas são exemplos de processos que sofreram modificações ao longo dos últimos anos com o avanço da tecnologia (Selwyn, 2016; Collins e Halverson, 2018).

Com esse avanço tecnológico, alguns aspectos passaram a demandar maior investigação. Uma vez que os processos passaram a ser predominantemente digitais, temas como segurança da informação, acessibilidade e confiabilidade dos dados ganharam maior relevância. Garantir a confiabilidade das informações, que apenas pessoas autorizadas possam ter acesso a elas e que os dados não tenham sido alterados digitalmente são questões que se tornaram importantes com essa transformação digital (Yli-Huumo *et al.*, 2016).

Processos de certificação de documentos, por exemplo, costumam ser burocráticos, demorados e com diversos intermediários. Validar diplomas e experiências ainda é um processo difícil, que envolve entidades centralizadas e de confiança. Uma série de etapas manuais e atuação de diferentes autoridades são necessárias para que um diploma seja emitido. Além de ser uma tarefa normalmente demorada, ainda envolve limitações, como necessidade posterior de autenticações, verificações e validações por terceiros.

Mesmo com novas soluções, como a certificação digital, ainda podem ser limitadas. A emissão desses certificados ainda costuma ser um processo centralizado e dependente de autoridades únicas. Embora esses mecanismos acrescentem maior segurança geral, são vulneráveis a alguns tipos de fraude, já que funcionam em sistemas centralizados e mutáveis. Há diversos casos de fraudes de diplomas registrados na literatura e em noticiários ainda nos dias atuais (Barbosa, Oliveira e Souza, 2022; Devedžić e Jovanović, 2015). Mesmo que apresentem evolução, as certificações digitais ainda funcionam em um paradigma que possibilita esse tipo de fraude, no qual pessoas ou entidades que possuem a autoridade podem emitir, apagar e modificar os documentos ao longo do tempo.

Apesar desses avanços, a literatura ainda se concentra majoritariamente na certificação de documentos isolados, como diplomas e certificados específicos, sem contemplar a trajetória profissional de forma

integrada. Nesse sentido, identifica-se uma lacuna quanto ao desenvolvimento de soluções que permitam o registro, a verificação e a rastreabilidade contínua de diferentes tipos de credenciais ao longo do tempo.

Nesse contexto, surge o MedChain, um sistema de certificação de trajetória profissional na área da saúde, que utiliza *blockchain*, identidades descentralizadas e armazenamento distribuído. Através dessas três tecnologias a proposta busca prover maior segurança, tolerância a fraudes, interoperabilidade entre sistemas e agilidade nos processos de certificação, não só de diplomas, mas de toda a trajetória do profissional da saúde, desde certificados acadêmicos até o registro das experiências de emprego dos profissionais. Em linhas gerais, o MedChain emite os documentos por meio de identificadores descentralizados (DIDs), registrando-os na *blockchain* Stacks (Stacks Foundation, 2021) e armazenando-os em um sistema de armazenamento distribuído (IPFS).

O objetivo do trabalho é desenvolver um sistema para certificação segura, eficaz e imutável de trajetória profissional na área da saúde. O artigo busca analisar aspectos como tempo de resposta, tolerância a fraudes, interoperabilidade entre sistema e relacioná-los com o modelo tradicional de emissão de certificados. Ao comparar a proposta com o modelo tradicional pretende-se entender como um novo paradigma, focado na descentralização, pode contribuir para os processos de certificação. Pretende-se analisar também como o sistema pode se adequar a realidade das instituições e quais as adaptações necessárias para sua implantação e integração com os sistemas atuais.

O estudo é guiado por uma série de questões de investigação, como:

- Quais processos operacionais o MedChain pode resolver?
- Quais dificuldades e facilidades que surgem com a adoção institucional do sistema?
- Como a proposta impacta aspectos como segurança, confiabilidade, rastreabilidade e interoperabilidade?
- Como o MedChain pode integrar-se com os sistemas existentes das instituições?

O estudo adota uma abordagem exploratória e aplicada, com base em princípios de *design science*. O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento da ferramenta e a avaliação por meio de dados simulados baseados em contextos de universidades federais.

A partir dos resultados, entende-se que há uma lacuna a ser preenchida nos processos de certificação profissional, principalmente em aspectos como a segurança e a imutabilidade das informações. Ainda é possível concluir que o tempo de resposta desse processo pode ser melhorado com esse novo paradigma. Dessa maneira, o MedChain se apresenta como uma proposta relevante no que diz respeito aos processos de certificação de trajetórias profissionais, acrescentando tolerância a fraudes, interoperabilidade e agilidade.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Desenvolver soluções inovadoras na área de certificação profissional envolve o conhecimento de bases sólidas, especialmente por se tratar de uma área bastante regulada, que envolve governos, instituições públicas e privadas, bem como trabalhadores. Diversos são os desafios envolvidos, o que fortalece a necessidade de um embasamento teórico consistente. Este

capítulo apresenta uma revisão das teorias relacionadas a *blockchain*, identidades descentralizadas e armazenamento de dados distribuídos, com base em estudos e pesquisas importantes nessas áreas.

## **2.1 Blockchain: fundamentos, arquitetura e limitações**

A tecnologia *blockchain* foi proposta em 2008 com o surgimento do *Bitcoin* (Nakamoto, 2008). Desde então, diversos outros trabalhos utilizam os conceitos apresentados por Satoshi Nakamoto. De maneira simples, pode-se entender uma *blockchain* como um registro (livro-razão contábil no caso do *Bitcoin* e outras criptomoedas) de informações organizadas em blocos interligados entre si. Uma vez que novos dados são adicionados aos anteriores, um identificador único é calculado e associado ao bloco. Ao adicionar novos dados ligados aos anteriores, cria-se uma cadeia de blocos (*blockchain*), no qual se adiciona uma característica importante, a imutabilidade. Isso ocorre porque a modificação de uma informação de um bloco, ocasionaria a mudança do identificador único de todos os blocos posteriores, o que tornaria perceptível qualquer alteração ou tentativa de fraude. Outro conceito importante introduzido na proposta do *Bitcoin* é a prova de trabalho, que permite a validação dessas transações de forma coletiva por consenso de uma grande quantidade de participantes de uma rede. Essas tecnologias possibilitam imutabilidade, auditabilidade e maior confiança para os sistemas que os utilizam (Tapscott e Tapscott, 2016).

Nos últimos anos, aumentou significativamente o interesse institucional pela tecnologia *blockchain*. Áreas como saúde, educação e governança passaram a propor trabalhos que utilizam esse novo paradigma para prover sistemas e ferramentas robustas para seus clientes (Zheng et al., 2017; Yli-Huumo et al., 2016). Esses trabalhos geralmente buscam soluções com características de descentralização da informação e do controle dos dados, imutabilidade, auditabilidade pública, além de tolerância a ataques e falhas. No que se refere a essa última característica, percebe-se o poder desse tipo de sistema, ao se observar o *Bitcoin*. Desde que surgiu, a rede só apresentou problemas em dois momentos, um em 2010 e outro em 2013. Desde então, ou seja, há mais de 10 anos, o sistema funciona sem interrupções ou falhas (Antonopoulos, 2017). Cabe também salientar que alguns anos depois surgiu um novo conceito associado a *blockchain*: os contratos inteligentes. Nesse contexto, além desses registros imutáveis, os sistemas são capazes de automatizar processos através de programas que são armazenados na própria *blockchain* (Buterin, 2014).

Contudo, existem algumas questões do ponto de vista técnico e institucional, que ainda demandam solução. Destacam-se problemas como a escalabilidade das soluções, os possíveis altos custos das operações, a integração com sistemas já existentes, além de questões relacionadas ao consumo de energia e à privacidade (Zheng et al., 2017; Yli-Huumo et al., 2016). Mesmo assim, diversos trabalhos têm surgido buscando aprimoramento e soluções para tais obstáculos.

## **2.2 Blockchain na saúde: potencial e aplicações emergentes**

No setor da saúde, a tecnologia *blockchain* possibilita que ferramentas e sistemas garantam integridade, privacidade e rastreabilidade de prontuários eletrônicos, prescrições médicas, laudos e certificados

profissionais, por exemplo (Agbo, Mahmoud e Eklund, 2019; Mettler, 2016). Isso possibilita o gerenciamento de informações críticas de forma transparente e segura. Há muito tempo, casos de fraudes e adulterações de diplomas médicos são noticiados e descobertos, o que torna ainda mais relevantes as propostas que buscam descentralização e transparência.

Nos estudos analisados, encontram-se aplicações como:

- Interoperabilidade entre sistemas hospitalares e clínicas, viabilizando o compartilhamento seguro de dados do paciente, histórico de procedimentos e movimentação entre instituições.
- Controle de cadeias de suprimento de medicamentos, vacinas e insumos, garantindo a rastreabilidade e a conformidade com normas regulatórias.
- Registro e verificação de diplomas na área da saúde, prevenindo fraudes e aumentando a confiança de empregadores e órgãos públicos (Agbo, Mahmoud e Eklund, 2019; Mettler, 2016).

Apesar dos avanços, projetos que utilizam tecnologia *blockchain* na saúde ainda são experimentais e escassos. Dificuldades culturais, regulatórias e técnicas dificultam a adoção em larga escala (Alammary et al., 2019).

### **2.3 Blockchain em educação e certificação digital**

Na área da educação, a *blockchain* permite o registro de dados acadêmicos, de diplomas e de certificados, de forma imutável e pública. Propostas como Blockcerts (Gräther et al., 2018), MIT Media Lab e European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) têm demonstrado casos de uso em universidades, governos e ambientes virtuais de aprendizagem. Essas plataformas permitem a emissão, o armazenamento e o compartilhamento de certificados digitais, facilitando a validação por empregadores, instituições e órgãos reguladores. As características de transparência e imutabilidade desses registros contribuem para a redução de fraudes e maior agilidade na contratação de profissionais (Sharples e Domingue, 2016; Grech e Camilleri, 2017).

No Brasil, algumas universidades iniciaram projetos-piloto, no entanto, essas propostas ainda dependem de autoridades centralizadas e processos manuais, além de apresentarem difícil integração com outros sistemas educacionais. Os estudos indicam algumas dificuldades na utilização e implantação de propostas baseadas em redes *blockchain*, variando desde a necessidade de adaptação à legislação local e de capacitação de equipes, até a integração com sistemas governamentais (Barbosa, Oliveira e Souza, 2022).

### **2.4 Identidade descentralizada (DID) e autossobrerania de dados**

O conceito de Identidade Descentralizada (*Decentralized Identity - DID*) propõe a autossobrerania dos indivíduos sobre seus dados. Diferentemente do modelo tradicional, em que as identidades digitais dependem de entidades centrais (universidades, órgãos de governo, plataformas privadas), no modelo descentralizado, o próprio usuário detém, armazena e gerencia suas credenciais, podendo compartilhá-las e comprová-las por meio de criptografia (Allen, 2016).

O World Wide Web Consortium (W3C) tem promovido padrões abertos para DIDs e *Verifiable Credentials* (credenciais verificáveis), abrindo espaço para a interoperabilidade global, a redução de custos, o empoderamento dos usuários e a automação de processos burocráticos. Estudos desenvolvidos na Europa, na Ásia e nos Estados Unidos nessas áreas indicam grande potencial para transformação dos sistemas de certificação acadêmica, trabalhista e de saúde (Grech e Camilleri, 2017). No contexto brasileiro, a utilização de DIDs ainda é pequena, o que indica oportunidades em áreas como concursos públicos, mobilidade estudantil e validação de competências.

## **2.5 Microcertificações, *lifelong learning* e novos modelos de reconhecimento**

Além da certificação de diplomas tradicionais, encontram-se na literatura trabalhos relacionados às microcertificações e às trilhas de aprendizagem ao longo da vida (*lifelong learning*). Propostas nessa linha exigem sistemas adaptáveis, capazes de registrar múltiplos tipos de experiências, cursos, atividades e competências adquiridas fora do ambiente formal (Devedžić e Jovanović, 2015).

Nesse cenário, tecnologias como *blockchain* e DIDs podem ser utilizadas como solução para criar portfólios digitais portáteis, auditáveis e verificáveis globalmente, favorecendo a empregabilidade, mobilidade e internacionalização.

## **2.6 Lacunas e desafios na literatura**

Apesar dos avanços, a maioria dos trabalhos propõe a certificação de diplomas ou credenciais isoladas. Poucos sistemas consideram toda a trajetória do profissional, integrando diferentes fases e tipos de certificações. Nesse sentido, ainda existe uma lacuna relacionada aos desafios de interoperabilidade, aceitação institucional, escalabilidade e adequação regulatória (Agbo, Mahmoud e Eklund, 2019; Grech e Camilleri, 2017).

O desenvolvimento de sistemas como o MedChain busca preencher essa lacuna, propondo uma arquitetura capaz de certificar e auditar a trajetória profissional do indivíduo, desde a graduação até especializações e experiências profissionais, com base em governança distribuída, automação e transparência dos dados.

## **3 METODOLOGIA**

Este estudo adota uma abordagem exploratória e aplicada, fundamentada na metodologia de pesquisa tecnológica, utilizando princípios de *design science* (Hevner *et al.*, 2004). O objetivo central consiste na proposição, desenvolvimento e avaliação do MedChain, um artefato digital destinado à certificação e rastreabilidade de trajetórias profissionais na saúde.

### **3.1 Tipo de pesquisa**

A pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, uma vez que parte de um problema operacional concreto: a certificação e rastreabilidade de trajetórias profissionais, buscando, por meio do desenvolvimento de uma solução tecnológica, oferecer uma resposta inovadora a esse desafio. Adota-

se a abordagem de *design science*, que envolve a concepção, construção, análise e avaliação de um sistema tecnológico, permitindo a validação do modelo proposto em ambiente simulado.

### 3.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada em três etapas principais:

- **Revisão da literatura:** levantamento sistematizado de artigos científicos em bases como Scopus, Web of Science e Google Scholar, priorizando trabalhos recentes e de alto impacto relacionados à *blockchain*, certificações digitais, gestão de operações em saúde e tecnologias aplicadas à educação.
- **Análise documental:** análise de normativas institucionais relativas à emissão, validação e verificação de diplomas e certificados acadêmicos, com foco nos procedimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Foram examinados documentos públicos, regulamentos, fluxogramas operacionais e atas institucionais.
- **Discussões exploratórias de caráter informal:** realizadas com técnicos-administrativos e coordenadores de curso das instituições analisadas, visando compreender os principais gargalos operacionais, estratégias adotadas para mitigação de riscos e percepção sobre os desafios e oportunidades de inovação nos processos de certificação.

A análise documental e as discussões informais permitiram o mapeamento detalhado dos fluxos institucionais vigentes, identificando prazos, atores envolvidos, etapas intermediárias e possíveis falhas de integração. As informações provenientes dessas discussões foram organizadas de forma qualitativa e utilizadas como apoio para a compreensão dos fluxos operacionais e identificação de pontos críticos. Ressalta-se que tais contribuições não foram tratadas como dados formais de pesquisa empírica, mas como insumos exploratórios para o desenvolvimento de casos de uso e cenários simulados do MedChain.

### 3.3 Desenvolvimento e testes simulados

Com base nos fluxos institucionais mapeados, foi desenvolvido o sistema MedChain, um sistema composto por um *backend* em Node.js, uma interface web (*frontend*) e contratos inteligentes na *blockchain* Stacks, utilizando DIDs e armazenamento distribuído via IPFS. O sistema foi testado em ambiente controlado, simulando situações reais de emissão e validação de certificados profissionais, utilizando dados fictícios, mas realistas, dos cursos de Medicina e Enfermagem da UFSC e da FURG.

Os principais indicadores avaliados foram os seguintes: tempo de emissão, complexidade dos fluxos, número de atores envolvidos, riscos de fraude, custos operacionais e confiabilidade documental. Para cada indicador, estabeleceu-se uma comparação qualitativa e quantitativa entre os procedimentos tradicionais e os resultados obtidos com o MedChain. A escolha desses indicadores fundamenta-se na literatura sobre avaliação de sistemas de informação e certificação digital, que destaca aspectos como eficiência operacional, segurança, confiabilidade e complexidade dos

processos como dimensões relevantes de análise. Dessa forma, buscou-se avaliar não apenas o desempenho técnico do sistema, mas também seu potencial de aplicação em contextos institucionais reais.

Além dos testes padrão de emissão, foi avaliada a robustez do sistema por meio da simulação de falhas, como interrupção de conexão, tentativa de alteração dos documentos após emissão e da validação retroativa de documentos (migração de registros antigos para a *blockchain*).

### **3.4 Procedimentos analíticos**

A análise dos dados envolveu a integração das informações obtidas nas etapas anteriores, com o objetivo de compor um panorama dos fluxos de certificação profissional e dos principais gargalos operacionais envolvidos. Foram definidos parâmetros realistas para os testes simulados, com base na frequência, complexidade e importância dos registros nas rotinas administrativas das universidades analisadas.

A avaliação técnica do MedChain incluiu a latência das transações, a estabilidade do *backend*, a interoperabilidade entre o IPFS e a *blockchain*, a usabilidade da interface e a resiliência operacional. A análise final assumiu natureza reflexiva, antecipando barreiras para a implementação em larga escala e sugerindo aprimoramentos para a arquitetura proposta.

O processo analítico foi conduzido de forma interpretativa, buscando relacionar os resultados obtidos com os conceitos apresentados na literatura, especialmente no que se refere à descentralização, rastreabilidade e confiabilidade dos sistemas baseados em *blockchain*.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O processo de desenvolvimento e avaliação do MedChain baseou-se em um experimento simulado, fundamentado em dados e fluxos institucionais reais de certificação profissional nos cursos de Medicina e Enfermagem da UFSC e da FURG. O objetivo central consistiu em testar a viabilidade operacional do sistema, mensurar indicadores de desempenho, identificar gargalos e analisar benefícios e limitações da adoção do MedChain em comparação aos métodos tradicionais. A seguir, detalha-se cada etapa do experimento, os resultados obtidos e as discussões críticas à luz da literatura.

### **4.1 Estrutura do experimento e contexto institucional**

Para simular fielmente o ambiente real, foi elaborado um conjunto de dados institucionais fictícios, inspirado nos registros históricos das universidades analisadas. Ao todo, 89 certificados distintos foram preparados, contemplando diferentes naturezas de documentos: diplomas de graduação, certificados de residência médica, especializações, registros profissionais, entre outros. Os dados incluíam informações como nome do egresso ou profissional, curso, instituição, data de conclusão, área de atuação e um DID.

A escolha dos cursos de Medicina e Enfermagem responde a critérios estratégicos, pois ambos possuem elevado volume de certificações anuais, diversos tipos de vínculos institucionais e processos regulatórios rígidos, tornando-os ideais para avaliar desafios comuns à certificação na área da saúde. Além disso, as instituições selecionadas (UFSC e FURG) apresentam

perfis distintos em termos de infraestrutura tecnológica, práticas administrativas e cultura de inovação, enriquecendo a análise comparativa.

O fluxo tradicional de emissão de certificados foi mapeado a partir de análise documental, discussões informais com servidores e observação das rotinas institucionais. Foram identificadas etapas como: solicitação do egresso, conferência documental, tramitação interna, validação por colegiados, emissão física do diploma, coleta de assinaturas e envio ao destinatário. Em muitos casos, as etapas envolviam uso simultâneo de sistemas digitais e procedimentos físicos, o que gera redundância e riscos de inconsistência.

Com base nesse mapeamento, foi possível construir um modelo comparativo (ver Quadro 1) entre o processo tradicional e o fluxo operacional viabilizado pelo MedChain, o que permitiu identificar ganhos objetivos de tempo, rastreabilidade e redução de etapas intermediárias.

Quadro 1 - Comparação entre o Fluxo Tradicional e o MedChain na Certificação Profissional

Etapa	Fluxo Tradicional	MedChain
Solicitação do egresso	Presencial/online	Online via plataforma MedChain
Conferência documental	Manual, por servidor	Automatizada, com validação <i>hash</i>
Tramitação interna	Físico e digital, demorado	Digital, rastreável
Emissão de diploma	Física, impressão em papel	Digital, arquivo PDF + IPFS
Coleta de assinaturas	Física, várias partes envolvidas	Digital, validação via DID
Registro	Manual, em sistemas isolados	<i>Blockchain</i> , registro distribuído
Entrega ao egresso	Presencial ou postal	Digital, acesso remoto/verificação
Validação externa	Manual, solicitações avulsas	Consulta pública via sistema

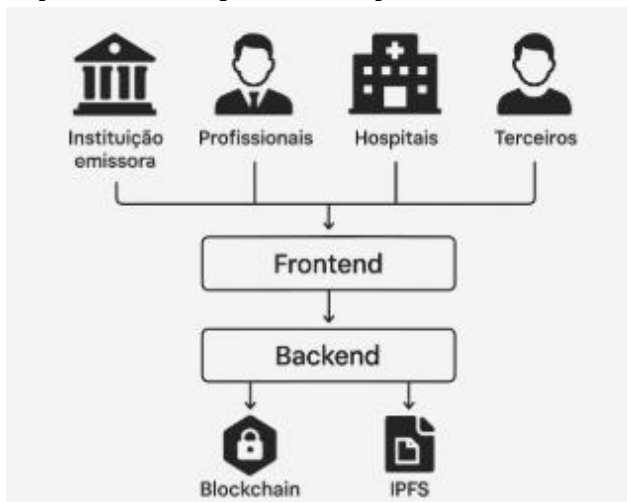
#### 4.2 Implementação do MedChain: arquitetura e funcionalidades

O MedChain foi desenvolvido com arquitetura modular, composta por três camadas principais: *frontend* (interface web), *backend* (servidor Node.js + Express) e os contratos inteligentes na *blockchain* Stacks, integrando DIDs e o IPFS para armazenamento seguro e distribuído. A arquitetura modular do MedChain permite que diferentes instituições, como universidades, hospitais, clínicas, conselhos e prefeituras, atuem como emissoras e/ou validadoras de certificações, promovendo governança distribuída e interoperabilidade entre sistemas. O repositório completo do projeto está disponível publicamente em: <https://github.com/medchainsw/medchain/>.

A Figura 1 apresenta a arquitetura geral do MedChain, destacando o fluxo completo, desde a entrada de dados pelas instituições emissoras, hospitais e profissionais, passando pelo *backend*, até o registro final na

*blockchain* e upload no IPFS. O *frontend* consome esses dados para exibição em tempo real, garantindo acesso, verificação e rastreabilidade pública.

Figura 1 - Arquitetura geral do MedChain



#### 4.2.1 Frontend

O *frontend* do MedChain permite que instituições, profissionais e terceiros realizem diversas operações: consulta de certificados, visualização da linha do tempo profissional (*timeline*), emissão individual e em lote de certificados, verificação pública e auditoria. As interfaces foram projetadas para máxima usabilidade, possibilitando navegação intuitiva mesmo para usuários sem experiência técnica. A visualização gráfica da *timeline* favorece a compreensão integrada da formação e trajetória do profissional.

No *frontend*, as funcionalidades se dividem em três principais áreas:

- **Emissão individual:** a instituição insere manualmente os dados e registra o certificado no sistema.
- **Registro em lote:** por meio do envio de um arquivo CSV, é possível emitir dezenas ou centenas de certificados de uma só vez.
- **Verificação pública:** qualquer parte interessada pode acessar a validade de um certificado usando seu *hash*, DID ou link IPFS.

As Figuras 2, 3 e 4 a seguir exemplificam visualmente essas interfaces.

Figura 2 - Tela de verificação pública

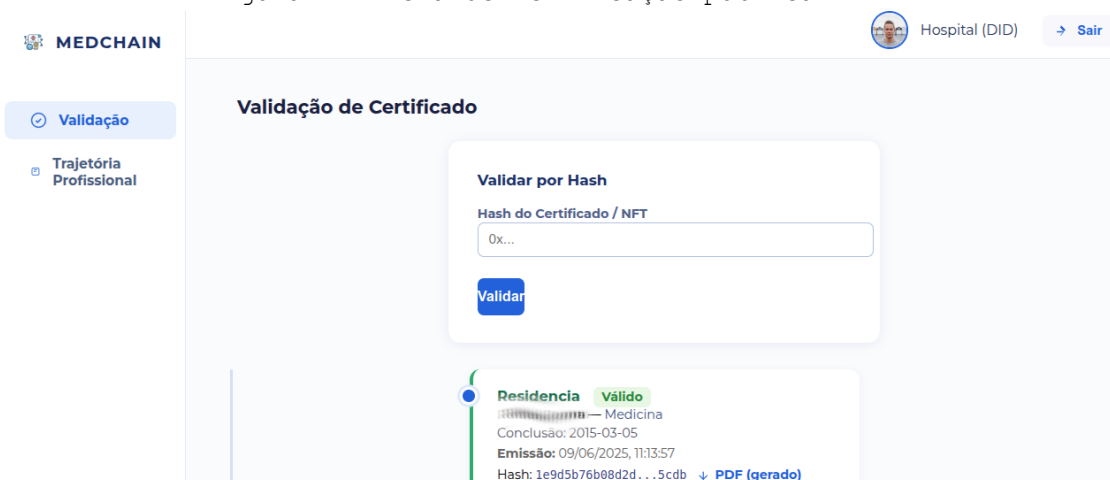


Figura 3 - Visualização da linha do tempo de um profissional

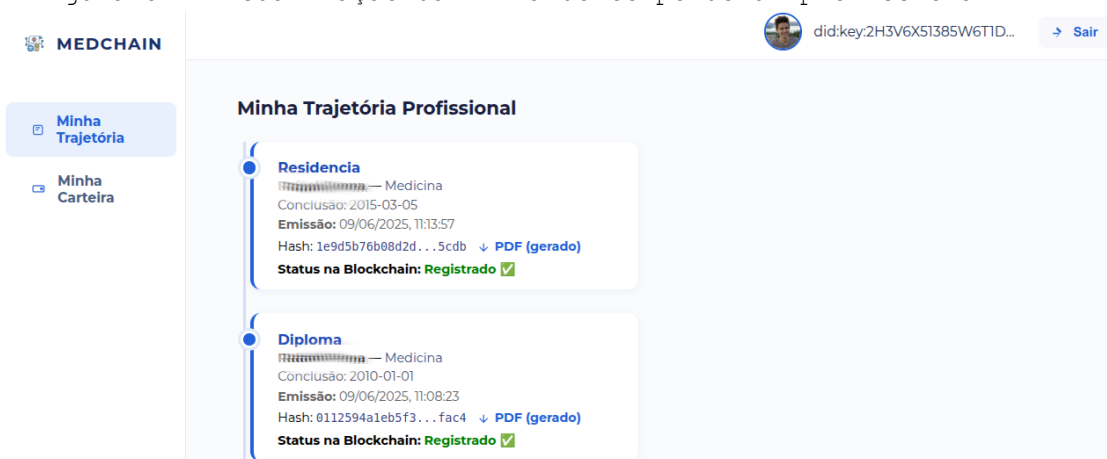
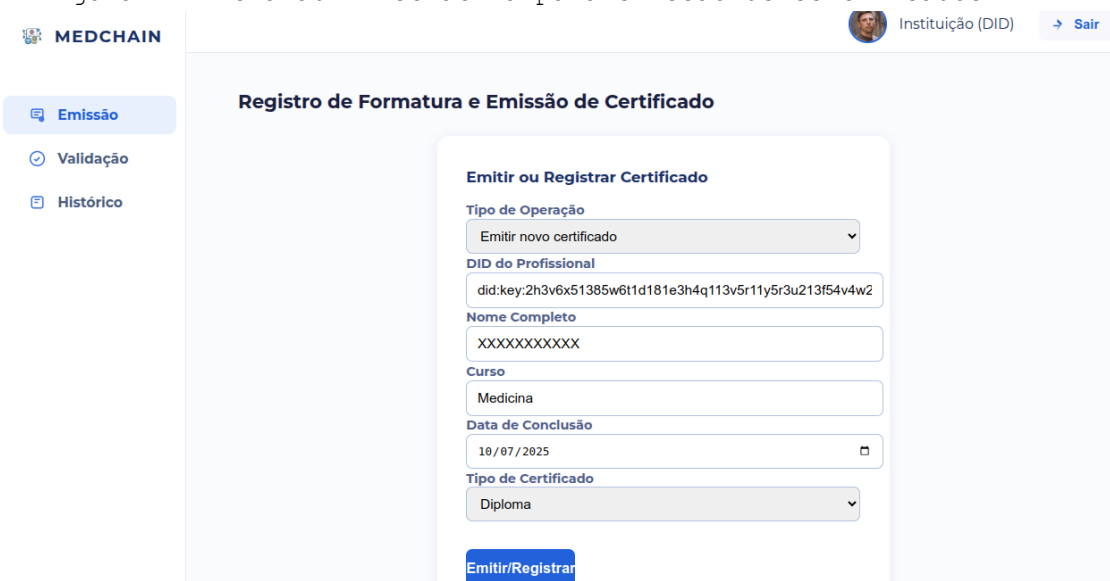


Figura 4 - Tela administrativa para emissão de certificados



#### 4.2.2 Backend

No *backend*, os dados recebidos das instituições são processados, organizados no padrão *Verifiable Credentials* (VC), submetidos à geração de *hash* criptográfico, associados ao DID do profissional e, por fim, preparados para registro na *blockchain*. O *backend* gera automaticamente o arquivo PDF do certificado, realiza o upload seguro no IPFS (Web3.Storage), registra o *hash* e os metadados na *blockchain* Stacks via contrato Clarity e retorna logs detalhados de cada operação, assegurando rastreabilidade.

#### 4.2.3 Contrato inteligente

O contrato inteligente (Clarity/Stacks) implementa as regras de registro, validação e controle de permissões para emissores autorizados. Cada novo registro gerado é imutável, transparente e publicamente verificável. O uso de DIDs institucionais garante que apenas entidades reconhecidas possam emitir registros, ao mesmo tempo em que descentraliza o controle dos dados.

#### 4.2.4 Funcionalidades diferenciadas

O MedChain destaca-se por permitir o registro retroativo de certificados (migração de documentos antigos), integração com diferentes sistemas institucionais (via API), suporte a emissão em lote (operações massivas com rapidez) e compatibilidade com padrões abertos para identidade digital e interoperabilidade internacional.

A Figura 5 apresenta a tela de emissão de certificados em lote.

Figura 5 - Tela administrativa para registro em lote



### 4.3 Execução dos testes: preparação, procedimentos e parâmetros

A execução dos testes foi realizada em ambiente simulado, cuidadosamente planejado para reproduzir as condições reais das instituições analisadas. O arquivo CSV com os 89 registros foi estruturado de modo a abranger múltiplas categorias de certificação e diferentes níveis de complexidade (certificados de conclusão, especialização, residência, atuação, entre outros).

#### 4.3.1 Simulação de fluxo completo

O teste foi subdividido em três grandes blocos operacionais:

1. **Preparação dos dados:** levantamento, digitalização e organização das informações dos certificados, validação de metadados e geração de DIDs simulados.
2. **Registro no MedChain:** upload dos registros via funcionalidade "Registrar em Lote" do sistema, processamento sequencial pelo *backend*, geração dos *hashes*, upload dos arquivos no IPFS, registro dos *hashes* na *blockchain* Stacks, gravação de logs de todas as etapas.
3. **Verificação e validação:** consulta pública dos certificados registrados, verificação da integridade por meio da comparação de *hashes*, teste de consulta por parte de terceiros, validação por auditoria (tentativa de alteração do PDF e conseqüente reprovação pelo sistema).

O tempo total para emissão dos 89 certificados foi de 19 minutos e 39 segundos, com média de 13,2 segundos por certificado. Isso representa uma redução significativa em relação ao tempo médio do fluxo tradicional, que pode variar de 3 dias a 2 semanas por diploma, conforme consulta informal com os técnicos. Durante o processo, o *backend* registrou logs detalhados de cada etapa, permitindo rastreamento, identificação de gargalos e eventual reprodução de falhas. O sistema demonstrou capacidade de processar grandes volumes de registros sem perda de desempenho ou estabilidade.

#### 4.3.2 Robustez, resiliência e testes de falhas

O MedChain foi testado em diferentes cenários de falhas operacionais: interrupção da conexão com o IPFS, queda de serviço do *backend*, tentativa de alteração de documento pós-registro, falhas de autenticação institucional e registro de DIDs não reconhecidos. Em todos os casos, o sistema apresentou resiliência, realizando novas tentativas automáticas, bloqueando registros não autorizados e impedindo a validação de certificados adulterados.

Um dos resultados relevantes observados foi a capacidade de detecção de fraudes: ao tentar alterar um PDF registrado, o sistema identificava imediatamente a divergência de *hash*, invalidando a verificação pública do certificado. O log de tentativas de consulta permitiu, inclusive, identificar padrões de comportamento suspeitos (simulação de acesso por múltiplos IPs em intervalos curtos, possível tentativa de ataque ou auditoria não autorizada).

### 4.4 Resultados quantitativos e qualitativos

A análise dos resultados foi conduzida tanto sob o aspecto quantitativo (tempos de execução, número de registros, taxa de erros, tempo de resposta das consultas públicas, logs de auditoria) quanto qualitativo (facilidade de uso, clareza das interfaces, percepções dos operadores e feedback de usuários em ambientes simulados).

Os principais indicadores coletados estão resumidos no Quadro 2:

Quadro 2 - Indicadores de desempenho do MedChain em ambiente simulado

Indicador	Resultado Obtido
Tempo total para emitir 89 certificados	19 minutos e 39 segundos
Tempo médio por emissão	13,2 segundos
Tempo médio de consulta pública	1,4 segundos
Taxa de detecção de fraude (simulada)	100% (nos cenários simulados)
Suporte à migração de certificados	Funcionalidade implementada e validada
Estabilidade do sistema	100% de execução concluída nas 89 simulações

Os resultados obtidos corroboram achados da literatura que apontam a *blockchain* como uma tecnologia promissora para aumentar a confiabilidade e a integridade de sistemas de certificação (Agbo, Mahmoud e Eklund, 2019; Zheng et al., 2017). A redução significativa no tempo de emissão e a eliminação de etapas intermediárias indicam ganhos operacionais relevantes, especialmente em contextos com alta demanda por validação documental. Além disso, a capacidade de detecção de fraudes observada nos testes evidencia o potencial do modelo proposto para mitigar vulnerabilidades presentes em sistemas centralizados.

Além dos tempos de emissão e validação compatíveis com uso em escala, o sistema demonstrou robustez ao lidar com grandes volumes e resiliência a falhas. O processo de detecção de alterações nos arquivos foi bem-sucedido em todas as tentativas simuladas de fraude, comprovando a integridade da arquitetura.

Durante os testes, usuários sem formação técnica utilizaram o MedChain e relataram facilidade no uso das interfaces, clareza das instruções e agilidade nas operações. As principais dúvidas estiveram relacionadas ao conceito de DIDs, facilmente sanadas por meio de instruções básicas. De modo geral, o feedback obtido foi positivo, destacando a transparência das operações e a segurança percebida.

#### 4.5 Comparação crítica com métodos tradicionais e outros sistemas

Ao comparar os resultados do MedChain com os métodos tradicionais, observou-se redução significativa de etapas intermediárias, eliminação de riscos de perda física dos documentos, rastreabilidade integral e auditabilidade em tempo real. A automação da validação e a possibilidade de consultas públicas instantâneas representam avanços relevantes frente à dependência de solicitações manuais, autenticações em cartório e múltiplos registros internos dos fluxos convencionais.

A literatura especializada ressalta que mesmo soluções digitais baseadas em assinaturas eletrônicas centralizadas ainda apresentam limitações quanto à interoperabilidade, transparência e dependência de uma única autoridade. O MedChain, ao adotar arquitetura descentralizada, DIDs e registros públicos na *blockchain*, reduz significativamente essa

dependência, transferindo maior controle dos dados ao próprio profissional e abrindo espaço para integrações institucionais.

Plataformas internacionais como Blockcerts demonstram potencial para digitalização da certificação, porém enfrentam dificuldades relacionadas à integração com normas e sistemas locais, além de raramente oferecerem visualização integrada da trajetória profissional. O MedChain diferencia-se ao propor uma *timeline* estruturada, interoperável e auditável, adaptada à realidade regulatória brasileira.

Dessa forma, os resultados não apenas confirmam tendências apontadas na literatura, mas também avançam ao demonstrar, ainda que em ambiente simulado, a viabilidade de uma abordagem integrada de certificação de trajetórias profissionais, aspecto ainda pouco explorado em estudos anteriores.

#### 4.6 Benefícios, desafios e limitações identificados

Entre os principais benefícios identificados, destacam-se:

- **Imutabilidade dos registros:** garantida pela *blockchain*, protegendo contra fraudes e adulterações.
- **Rastreabilidade e auditoria pública:** viabilizando consultas por diferentes partes interessadas, sem depender de ofícios ou solicitações burocráticas.
- **Visualização integrada da trajetória profissional:** favorecendo processos seletivos, análise de conformidade regulatória e reconhecimento de competências.
- **Redução de custos e retrabalho:** com automação de validações e eliminação de etapas presenciais.
- **Facilidade de integração com sistemas institucionais:** via APIs e padrões abertos.

No entanto, a adoção do MedChain implica desafios institucionais e técnicos:

- **Necessidade de adaptação de fluxos internos:** demandando revisão de políticas, treinamentos e ajustes culturais.
- **Adequação regulatória:** sobretudo em ambientes onde o reconhecimento legal de registros digitais ainda é restrito.
- **Sustentabilidade e manutenção do sistema:** exigindo adesão progressiva de instituições parceiras, suporte técnico e atualização contínua.
- **Teste limitado a ambiente simulado:** a ausência de validação em cenários reais configura uma limitação relevante a ser considerada em estudos futuros.

Finalmente, ressalta-se que a proposta do MedChain pode ser adaptada para outros contextos profissionais, como engenharia, direito ou educação básica, ampliando o impacto do sistema e fortalecendo o ecossistema de certificação digital no Brasil.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram o potencial do MedChain para transformar os processos de certificação profissional na área da saúde, ao

adotar uma abordagem descentralizada, transparente e interoperável. A solução apresentou viabilidade técnica, integrando *blockchain*, armazenamento distribuído (IPFS) e identidade descentralizada (DID) para registrar e validar trajetórias profissionais de maneira auditável e confiável. Os testes realizados indicaram ganhos importantes em termos de confiabilidade, integridade dos dados e redução de etapas intermediárias, posicionando o MedChain como uma alternativa promissora frente aos sistemas tradicionais.

Ao propor um novo paradigma para registro e verificação documental, o MedChain contribui para ampliar a compreensão sobre as possibilidades de aplicação de tecnologias distribuídas em contextos regulatórios e operacionais críticos. O sistema reconfigura as dinâmicas de confiança entre instituições emissoras, profissionais e validadores externos, oferecendo subsídios práticos e conceituais para novas soluções de gestão da informação em saúde e educação.

Entre as limitações do estudo, destaca-se a ausência de testes em ambientes institucionais reais, o que restringe conclusões sobre escalabilidade e aceitação em larga escala. Embora os dados utilizados sejam próximos da realidade, a validação com múltiplas instituições e usuários reais ainda representa um desafio futuro. Outro ponto importante a se considerar é a diversidade de contextos institucionais no Brasil, exigindo adaptações específicas para adoção do MedChain.

Para pesquisas futuras, recomenda-se realizar testes com instituições de ensino superior e conselhos profissionais, a fim de validar o MedChain em contextos reais e de diferentes níveis de complexidade. Estudos comparativos ao longo do tempo entre instituições que adotem o sistema e aquelas que mantêm métodos tradicionais podem avaliar impactos em indicadores operacionais, custos, tempos de resposta e confiabilidade percebida. O MedChain também pode ser adaptado para outras áreas profissionais, ampliando seu escopo para além da saúde.

Do ponto de vista teórico, o estudo contribui ao propor uma abordagem que amplia o conceito de certificação digital, tradicionalmente centrado em documentos isolados, para uma perspectiva de trajetória profissional integrada. Ao articular conceitos de *blockchain*, identidades descentralizadas e armazenamento distribuído, o MedChain apresenta um modelo que pode servir como base para futuras investigações sobre sistemas de certificação descentralizados em diferentes contextos institucionais.

A publicação do código-fonte e a documentação aberta do MedChain constituem um convite à colaboração, à evolução do sistema e à formação de uma comunidade técnica e institucional em torno da proposta. Dessa forma, espera-se contribuir para a construção de novos referenciais para certificação, integridade e gestão da informação profissional em larga escala.

#### **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), por meio de bolsa concedida ao autor.

## REFERÊNCIAS

- AGBO, C. C., MAHMOUD, Q. H., EKLUND, J. M. Blockchain technology in healthcare: a systematic review. **Healthcare**, v. 7, n. 2, 2019. p.56. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/healthcare7020056>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- ALAMMARY, A. *et al.* Blockchain-based applications in education: a systematic review. **Applied Sciences**, v. 9, n. 12, 2019. p. 2400. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9122400>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- ALLEN, C. The path to self-sovereign identity. **Life with Alacrity**, 2016. Disponível em: <https://www.lifewithalacrity.com/2016/04/the-path-to-self-sovereign-identity.html>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- ANTONOPOULOS, A. M. Mastering Bitcoin: programming the Open Blockchain. 2. ed. Sebastopol: **O'Reilly Media**, 2017.
- BARBOSA, F., OLIVEIRA, R., SOUZA, M. Blockchain para certificações digitais: um estudo aplicado na educação superior brasileira. **Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 18, n. 1, 2022. p. 55-70.
- BRENNEN, S.; KREISS, D. Digitalization. In: KIESEWETTER, T. (org.). THE INTERNATIONAL ENCYCLOPEDIA OF COMMUNICATION THEORY AND PHILOSOPHY. Hoboken: **Wiley-Blackwell**, 2016. p. 556-566.
- BUTERIN, V. A next-generation smart contract and decentralized application platform. **Ethereum White Paper**, 2014. Disponível em: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>. Acesso em: 25 out. 2024.
- COLLINS, A.; HALVERSON, R. Rethinking education in the age of technology: the digital revolution and schooling in America. 2. ed. New York: **Teachers College Press**, 2018.
- DEVEDŽIĆ, V., JOVANOVIĆ, J. Developing open badges: a comprehensive approach. **Educational Technology Research and Development**, v. 63, n. 4, 2015. p. 603-620. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9378-3>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- GRECH, A., CAMILLERI, A. F. Blockchain in education. Luxembourg: **Publications Office of the European Union**, 2017.
- Gräther, W. *et al.* Blockchain for education: lifelong learning passport. In: PROCEEDINGS OF THE 1ST ERCIM BLOCKCHAIN WORKSHOP 2018. **CEUR-WS.org**, 2018.
- HENRIETTE, E.; FEKI, M.; BOUGHZALA, I. The shape of digital transformation: a systematic literature review. In: MCIS 2015 PROCEEDINGS. S.L.: **AIS Electronic Library** (AISEL), 2015.
- HEVNER, A. R. *et al.* Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, 2004. p. 75-105. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/25148625>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- METTLER, M. Blockchain technology in healthcare: the revolution starts here. In: 2016 IEEE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH NETWORKING, APPLICATIONS AND SERVICES (HEALTHCOM). **IEEE**, 2016. p. 1-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749510>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 18 out. 2024.

SELWYN, N. Education and technology: key issues and debates. 2. ed. London: **Bloomsbury Academic**, 2016.

SHARPLES, M., DOMINGUE, J. The blockchain and kudos: a distributed system for educational record, reputation and reward. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING*. **Springer**, 2016. p. 490-496. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4_48). Acesso em: 12 jan. 2025.

STACKS FOUNDATION. Clarity language documentation. [S.I.]: **Stacks**, 2021. Disponível em: <https://docs.stacks.co>. Acesso em: 12 nov. 2024.

TAPSCOTT, D., TAPSCOTT, A. Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world. New York: **Penguin**, 2016.

VERHOEF, P. C. *et al.* Digital transformation: a multidisciplinary reflection and research agenda. **Journal of Business Research**, v. 122, 2021. p. 889-901. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>. Acesso em: 22 jun. 2025.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Maintaining essential health services: operational guidance for the COVID-19 context. Geneva: **WHO**, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-essential-health-services-2020.1>. Acesso em: 18 jun. 2025.

YLI-HUUMO, J. *et al.* Where is current research on blockchain technology? a systematic review. **PLOS ONE**, v. 11, n. 10, e0163477, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ZHENG, Z. *et al.* An overview of blockchain technology: architecture, consensus, and future trends. *In: 2017 IEEE INTERNATIONAL CONGRESS ON BIG DATA (BIGDATA CONGRESS)*. **IEEE**, 2017. p. 557-564. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>. Acesso em: 08 mar. 2025