



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Prototipagem de Open Badges em blockchain para ecossistema educacional com interfaces Web 3D e 2D

Bruno Sanguinetti Regadas de Barros

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Ciência da Computação

Orientadora
Prof.a Dr.a Germana Menezes da Nóbrega

Brasília
2025

Dedicatória

Para meus avós e meus pais.

Agradecimentos

Prof.a Germana

Universidade de Brasília

Departamento de Ciência da Computação e seus professores

Companheiros de curso

Por toda oportunidade e aprendizado ao longo desses anos.

Resumo

A crescente digitalização da educação demanda novas formas de credenciamento que sejam seguras, verificáveis e centradas no estudante. Este trabalho apresenta a integração entre tecnologias de *blockchain* e a especificação *Open Badges* 3.0 para criar um sistema de credenciamento educacional descentralizado, verificável e centrado no estudante. Construída sobre a *blockchain* Solana, a solução demonstra viabilidade técnica e prática através de casos de uso concretos, desde a criação de credenciais até sua verificação por terceiros. A implementação apresenta interfaces inovadoras, incluindo ambientes virtuais imersivos, mantendo compatibilidade com padrões W3C para interoperabilidade.

Palavras-chave: Solid, blockchain, smart badges, Open Badges, SmartUnB.ECOS, Solana, microcredenciais, credenciais

Abstract

This work presents the integration of blockchain technology and Open Badges 3.0 specification to create a decentralized, verifiable and student-centered educational credentialing system. Built on the Solana blockchain, the solution demonstrates technical and practical feasibility through concrete use cases, from credential creation to third-party verification. The implementation showcases innovative interfaces, including immersive virtual environments, while maintaining compatibility with W3C standards for interoperability.

Keywords: Solid, blockchain, smart badges, Open Badges, SmartUnB.ECOS, Solana, micro-credentials, credentials

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Introdução	1
2	Fundamentação	3
2.1	Trabalhos Relacionados a <i>Badges</i> Digitais em <i>Blockchain</i>	3
2.1.1	Especificação <i>Open Badges</i> e aplicações	3
2.1.2	Generalidades sobre <i>Blockchain</i>	4
2.1.3	Destaques da literatura	5
3	Trabalhos relacionados	6
3.1	Fundamentos para a proposta	6
3.1.1	Explorando <i>Open Badges</i>	6
3.1.2	Especificidades sobre <i>Blockchain</i>	7
3.1.3	<i>Decentraland</i> : um <i>Frontend</i> para prototipagem de ambiente de aprendizagem	8
4	Proposta	11
4.1	Proposta: Da criação à verificação de microcredenciais a partir da vida universitária	11
4.1.1	Posicionando a contribuição no âmbito do ecossistema educacional SmartUNB.ECOS	12
4.1.2	Cenários	13
4.1.3	Discussão	17
5	Conclusão	20
5.1	Conclusão	20
5.1.1	Objetivos alcançados	20
5.1.2	Trabalhos futuros	21
	Referências	22

Lista de Figuras

2.1	Visualização VC Assert [1].	3
2.2	Ligação entre blocos [2].	4
3.1	Modelo de dados de uma credencial Open Badges 3.0	7
3.2	Partes de uma DID URI [3]	7
3.3	Arquitetura Decentraland [4]	10
4.1	Elementos do ecossistema SmartUnB.ECOS [5].	12
4.2	Interface Web - Conquista criada	16
4.3	Ambiente Decentraland - Fim de credenciamento	16
4.4	Interface Web - Verificação	17

Lista de Tabelas

3.1 Comparação Técnica: Ethereum vs. Solana - Jun/2025 [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] 9

Capítulo 1

Introdução

1.1 Introdução

A transformação digital da educação tem gerado uma demanda crescente por sistemas de credenciamento que sejam seguros, verificáveis e centrados no aluno. Os métodos tradicionais de certificação, baseados em documentos físicos ou sistemas centralizados, enfrentam limitações significativas em termos de verificabilidade, portabilidade e resistência à fraude, dificultando o reconhecimento de habilidades e competências adquiridas ao longo da vida [15, 16].

Blockchains são tecnologias de registro distribuído onde instruções são agrupadas em blocos criptograficamente ligados, formando uma cadeia imutável de registros. Cada nó da rede mantém uma cópia completa desta cadeia, onde todos podem apontar alterações indevidas e excluir nós mal intencionados. *Open Badges* constituem um padrão aberto para credenciais digitais que incorpora metadados ricos sobre competências adquiridas, oferecendo verificabilidade automática e portabilidade completa entre diferentes sistemas e instituições.

A convergência entre credenciais digitais abertas e tecnologias de blockchain, como discutido por [17], oferece fundamentos para a construção de ecossistemas educacionais mais transparentes, seguros e centrados no aprendiz. Projetos como [18], [19] e implantações institucionais de Open Badges pela NASA e Open University evidenciam que já existem aplicações relevantes nesse campo. Este trabalho apresenta uma prototipagem exploratória que integra o padrão Open Badges 3.0 a uma blockchain pública moderna, de alta capacidade e baixa latência descrito por [10], investigando seu uso para emissão e verificação de credenciais com custos reduzidos, interação em tempo quase real e integração com interfaces web e ambientes imersivos.

Esse artigo explora a integração entre *blockchains* e *Open Badges*, para demonstrar a viabilidade de um sistema de credenciais educacionais verificáveis, escalável e centrado no

aluno, que atenda às necessidades de diferentes atores no ecossistema SmartUnB.ECOS [5].

Para responder a essa questão, estabelecemos os seguintes objetivos:

- Implantar a especificação *Open Badges 3.0* sobre uma *blockchain* pública;
- Criar interfaces acessíveis para diferentes atores, incluindo professores, alunos e verificadores externos;
- Demonstrar a viabilidade da integração com ambientes digitais alternativos, como o *Decentraland*, para aprimorar e diversificar experiências do usuário e casos de uso.

Capítulo 2

Fundamentação

2.1 Trabalhos Relacionados a *Badges* Digitais em *Blockchain*

2.1.1 Especificação *Open Badges* e aplicações

A especificação *Open Badges* representa um dos padrões mais consolidados para credenciais digitais granulares. Desenvolvida inicialmente pela Mozilla Foundation em 2011 [20], a especificação evoluiu significativamente até sua versão atual 3.0, mantida pela 1EdTech Consortium [1].

A versão 3.0 marca uma mudança paradigmática ao alinhar-se com o modelo de dados de Credenciais Verificáveis (*Verifiable Credentials* - VC) do *World Wide Web Consortium* (W3C) [21], conforme ilustrado na Figura 2.1. Esta evolução não é meramente técnica, mas representa uma filosofia de credenciamento centrada no indivíduo, onde portabilidade, verificabilidade e controle de dados pelo usuário são valorizados.

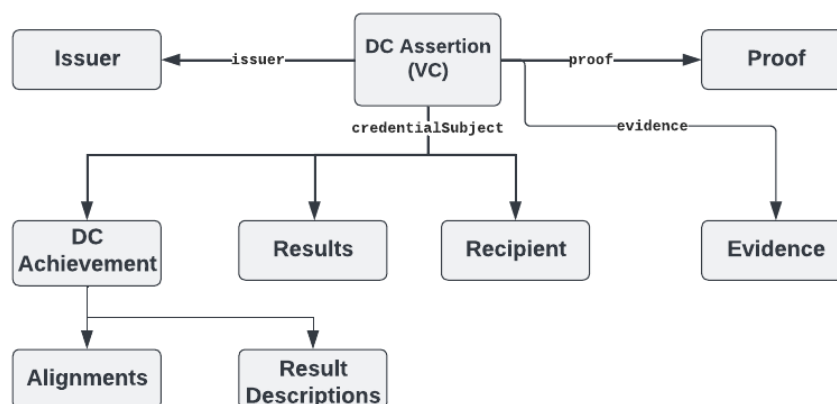


Figura 2.1: Visualização VC Assert [1].

Implantações práticas da especificação têm demonstrado sua viabilidade em contextos diversos. A Open University utiliza *badges* para reconhecer conquistas em cursos massivos online (Massive Open Online Courses - MOOC), enquanto organizações como National Aeronautics and Space Administration (NASA) [22] [23] emprega a tecnologia para certificar participação em programas educacionais especializados. A International Business Machines (IBM) [18] também tem sido uma usuária proeminente de *badges* digitais, utilizando-os para reconhecer habilidades e competências.

2.1.2 Generalidades sobre *Blockchain*

A tecnologia *blockchain*, popularizada inicialmente como infraestrutura subjacente ao Bitcoin [2], evoluiu para uma plataforma versátil para aplicações que demandam descentralização, imutabilidade e transparência.

O conceito fundamental por trás de uma *blockchain* reside na criação de um registro distribuído onde instruções são agrupadas em blocos criptograficamente ligados, formando uma cadeia imutável de registros (Figura 2.2). Cada nó da rede mantém uma cópia completa desta cadeia, eliminando pontos únicos de falha e a necessidade de autoridades centralizadas para validação de dados [2].

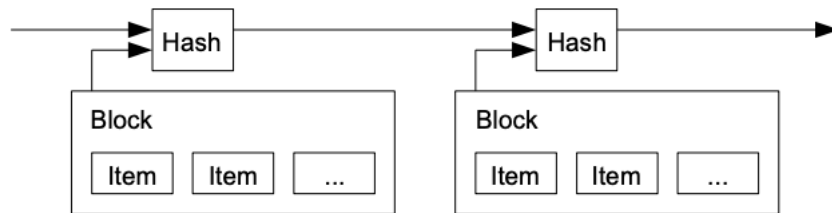


Figura 2.2: Ligação entre blocos [2].

Para aplicações educacionais, como destacado por [24], a imutabilidade da *blockchain* é particularmente valiosa. Uma vez registrada, uma credencial não pode ser alterada ou removida retroativamente, oferecendo garantias de integridade superiores a sistemas tradicionais baseados em bancos de dados centralizados [25]. Considere o caso hipotético de uma escola técnica que encerra suas atividades após décadas de operação. Em sistemas tradicionais, os registros de diplomas e certificados de seus ex-alunos podem se perder ou tornar-se inacessíveis, dificultando a comprovação de suas qualificações para fins de emprego ou educação continuada. Com a *blockchain*, esses registros permaneceriam permanentemente disponíveis e verificáveis, independentemente do *status* da instituição emissora.

2.1.3 Destaques da literatura

A intersecção entre *blockchains* e credenciamento educacional tem atraído crescente atenção da comunidade científica. [17] apresentaram um estudo de caso sobre descentralização do aprendizado ao longo da vida, demonstrando como esta tecnologia pode ser utilizada para criar ecossistemas educacionais mais flexíveis e centrados no aprendiz.

[26] realizaram uma análise abrangente da aplicação de *blockchain* para credibilidade no desenvolvimento educacional, identificando tecnologias-chave, potencial de aplicação e avaliação de desempenho. Seu trabalho oferece uma perspectiva sistêmica sobre os benefícios e desafios da implementação de *blockchain* em contextos educacionais. Complementarmente, [27] exploraram o futuro da educação universitária através de sistemas de exame, transcrição e certificação usando *blockchain*, demonstrando aplicações práticas em contextos institucionais.

A plataforma de *e-Learning* Digital Brick, descrita em [19], visa melhorar a experiência do estudante usando *blockchain*, *Open Badges* e recomendações. A pesquisa demonstrou que é possível projetar uma arquitetura completa em torno de um sistema de gestão de aprendizagem, introduzindo módulos específicos para separar responsabilidades na definição e emissão de certificações formais usando *badges* digitais que seguem a especificação *Open Badges*.

Estudos recentes sobre microcredenciais em educação superior [28] têm mostrado crescente interesse na implementação de sistemas granulares de reconhecimento, enquanto [29] investigaram fatores motivacionais que influenciam o uso de *badges* digitais, revelando diferentes orientações de aprendizagem entre estudantes.

Capítulo 3

Trabalhos relacionados

3.1 Fundamentos para a proposta

A proposta apresentada neste trabalho fundamenta-se na convergência de três pilares tecnológicos: a especificação Open Badges 3.0, a infraestrutura blockchain e ambientes virtuais imersivos. Cada um desses elementos contribui de forma complementar para a construção de um sistema de credenciamento educacional descentralizado, interoperável e centrado no estudante.

3.1.1 Explorando *Open Badges*

Uma credencial verificável no modelo Open Badges 3.0 pode ser descrita conceitualmente pela Figura 3.1 e seus principais componentes:

- ***Achievement***: Definição da conquista, incluindo nome, descrição e critérios. Vinculado ao sujeito quando emitido.
- ***AchievementCredential***: Credencial que vincula um Achievement a um sujeito, incluindo datas, evidências e resultados.
- ***AchievementSubject***: Sujeito (pessoa ou entidade) que recebe a credencial.
- ***Profile***: Descreve entidades como emissores.
- ***Evidence***: Documenta evidências relacionadas à conquista ou à credencial.
- ***Proof***: Prova criptográfica que garante a autenticidade e integridade da credencial. Resultado da assinatura da credencial em JSON por um emissor usando sua chave privada.

A compatibilidade com padrões do W3C, especialmente Credenciais Verificáveis e Identificadores Descentralizados (ver representação na Figura 3.2) permite que badges

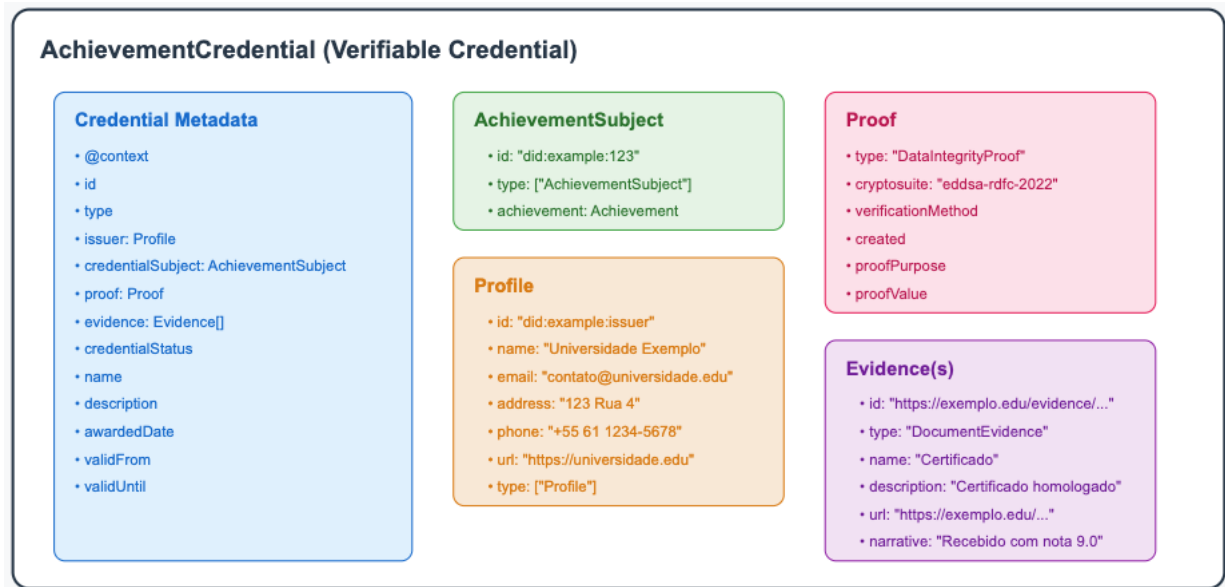


Figura 3.1: Modelo de dados de uma credencial Open Badges 3.0

criados conforme a especificação 3.0 sejam interoperáveis com uma ampla gama de sistemas de credenciamento digital, incluindo blockchains, o que não era possível na versão 2.0. Esta interoperabilidade é crucial para evitar silos de dados e permitir que indivíduos mantenham controle sobre suas credenciais ao longo da vida à medida que estende os identificadores para além de *Uniform Resource Identifier* (URLs) HTTPS.

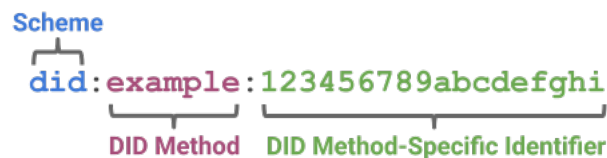


Figura 3.2: Partes de uma DID URI [3]

3.1.2 Especificidades sobre *Blockchain*

Em nosso caso de uso, a escolha da *blockchain* Solana como infraestrutura foi uma decisão motivada pelas limitações inerentes à Ethereum Layer 1 [13]. Os custos proibitivos e as restrições de tamanho dos contratos inteligentes tornaram a Ethereum inviável para a emissão em larga escala de microcredenciais baseadas na especificação *Open Badges*. Embora soluções de segunda camada baseadas em Ethereum atenuem alguns desses problemas, o custo da descentralização permanece comparativamente alto em relação à Ethereum L1 e a Solana, até que um número significativo de nós se junte a essas redes.

Solana atualmente oferece uma combinação de alta capacidade de processamento, transações e contratos inteligentes com tamanho necessário, taxas de transação acessíveis e um mecanismo de consenso energeticamente eficiente juntamente com um grau elevado de descentralização [14, 8], o que a torna ideal para a emissão de microcredenciais em larga escala.

Os dados do Quadro 3.1 demonstram vantagens significativas de Solana para nossa aplicação. O *throughput* superior e os custos tornam viável a emissão de *badges* em larga escala. A execução paralela e o tempo de finalização mais rápido [9] podem oferecer uma experiência de usuário superior para aplicações educacionais interativas.

3.1.3 *Decentraland*: um *Frontend* para prototipagem de ambiente de aprendizagem

O *Decentraland* representa uma plataforma para criação de experiências imersivas descentralizadas, oferecendo um contexto único para explorar a visualização e interação com credenciais educacionais em ambientes virtuais alternativos.

Construído sobre a *blockchain* Ethereum, o *Decentraland* permite que usuários possuam e desenvolvam ambientes virtuais através de Non-Fungible Tokens (NFT). Cada parcela pode hospedar experiências interativas desenvolvidas usando o Software Development Kit (SDK) oficial da plataforma, ou implementações próprias sobre a especificação, criando um metaverso rico e diversificado [4].

O SDK do *Decentraland* fornece primitivas essenciais para nossa implementação: criação de objetos 3D, sistemas de animação, interfaces de usuário e, crucialmente, integração com Application Programming Interfaces (API) externas, permitindo consulta de dados de *badges* armazenados em ambientes externos como *blockchains* ou *Solid Pods* [30].

A arquitetura da plataforma é ilustrada na Figura 3.3, destacando o componente *Scene Runtime*, responsável pela execução das "cenas", aplicações que definem o conteúdo e o comportamento dos ambientes virtuais. Nesse contexto, a interação com as *badges* ocorre por meio de uma cena dedicada, que proporciona um espaço específico para visualização e conquista de credenciais educacionais.

Métrica Técnica	Ethereum	Solana
Desempenho e Escalabilidade		
Vazão Real (Transações por Segundo)	12-15	2.000-4.000
Vazão Teórica	15	65.000
Tempo de Bloco	12s	400ms
Tempo de Finalização	12-19 min	6,4s
Latência de Confirmação	15s-5min	400ms-1,2s
Limitações de Dados		
Tamanho do Bloco	Dinâmico (30M gas)	48MB
Tamanho da Transação	128KB	1.232 bytes
Tamanho de Dados por Conta	Ilimitado	10MB
Unidades de Cálculo/Gas	30M gas/bloco	1,4M UC/tx
Economia e Custos (Médias 2024)		
Custo Base por Transação	\$1-20	\$0,00025
Custo de Armazenamento	\$100-1.000/MB	\$0,0348/MB
Implantação de Contrato Inteligente	\$50-500	\$2-5
Aluguel Anual de Armazenamento	N/A	\$6,96/MB
Arquitetura de Programação		
Máquina Virtual	EVM	Sealevel (paralela)
Linguagens de Programação	Solidity, Vyper	Rust, C, C++
Limite de Tamanho do Programa	24KB	4MB+
Execução Concorrente	Sequencial	Paralela

Quadro 3.1: Comparação Técnica: Ethereum vs. Solana - Jun/2025 [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]

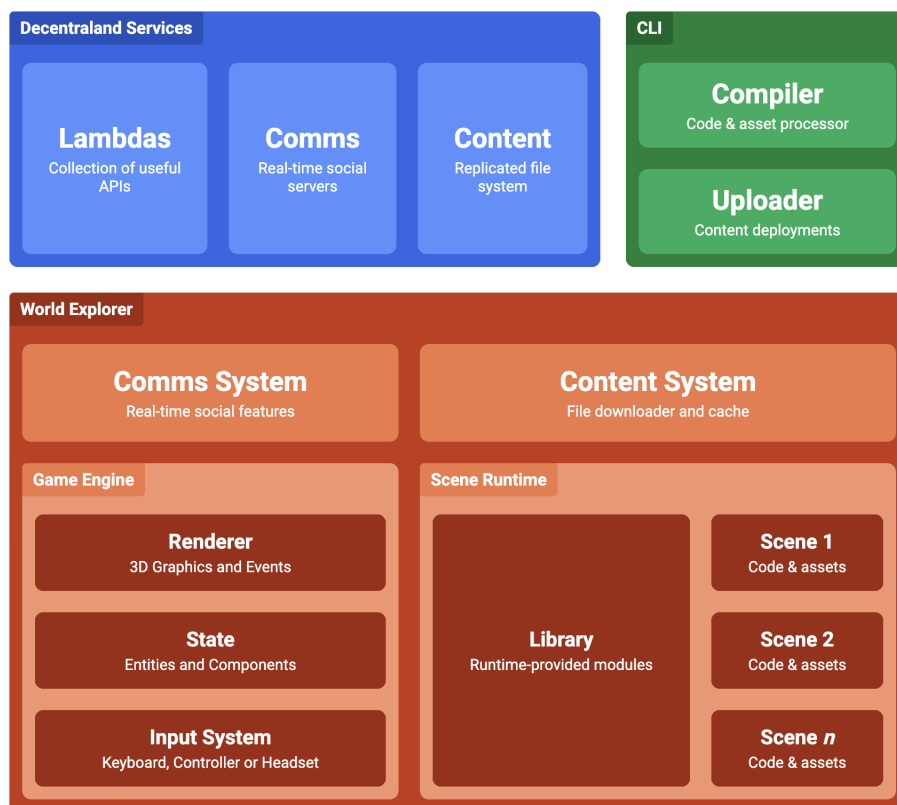


Figura 3.3: Arquitetura Decentraland [4]

Capítulo 4

Proposta

4.1 Proposta: Da criação à verificação de microcredenciais a partir da vida universitária

Com base na integração entre tecnologia *blockchain* e a especificação *Open Badges* 3.0, a implementação proposta busca contribuir para a criação de um ecossistema educacional descentralizado que supera limitações dos sistemas tradicionais de credenciamento [17]. Os recursos propostos e disponibilizados podem ser utilizados tanto no contexto acadêmico tradicional quanto em iniciativas independentes de reconhecimento de competências, como em aprendizagem informal, alinhando-se com tendências contemporâneas e respondendo a anseios de estudantes sobre o aprendizado ao longo da vida [31].

As seguintes ferramentas e recursos foram utilizados para o desenvolvimento da proposta, baseando-se em tecnologias consolidadas para credenciamento digital descentralizado:

- *Blockchain* Solana para infraestrutura descentralizada [10]
- *Framework Anchor* para desenvolvimento de contratos inteligentes [32]
- React.js e TypeScript para interface *web* administrativa [33]
- *Decentraland* SDK para ambiente virtual imersivo [34]
- Especificação *Open Badges* 3.0 para estrutura de dados [1]
- Padrões W3C *Verifiable Credentials* para interoperabilidade [21]

4.1.1 Posicionando a contribuição no âmbito do ecossistema educacional SmartUNB.ECOS

O sistema desenvolvido insere-se estrategicamente no contexto do ecossistema educacional SmartUNB.ECOS, apresentando uma contribuição com seu escopo definido na criação de infraestrutura digital descentralizada para reconhecimento granular de conquistas acadêmicas.

O ecossistema SmartUnB.ECOS (Figura 4.1) abrange múltiplas dimensões da experiência universitária e do aprendizado ao longo da vida, seguindo tendências de descentralização e personalização educacional [5]:

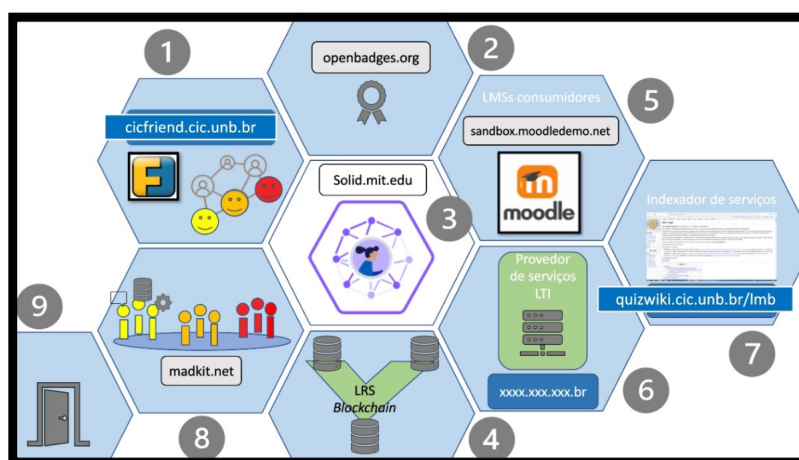


Figura 4.1: Elementos do ecossistema SmartUnB.ECOS [5].

1. **Rede Social Descentralizada (*Friendica*):** Instância *Friendica* implantada para a comunidade do departamento, promovendo comunicação, colaboração e visibilidade de conquistas acadêmicas, em consonância com iniciativas de descentralização de dados sociais de [35].
2. **Plataforma de Gestão de *Badges* Digitais:** Sistema para criação, emissão e gerenciamento do ciclo de vida de microcredenciais, fundamentado em padrões como *Open Badges* [1].
3. **POD Server:** Infraestrutura para armazenamento descentralizado de dados do usuário, garantindo privacidade e soberania de dados conforme [30].
4. **LRS em Blockchain (Learning Record Store):** Armazenamento distribuído de registros de aprendizagem, permitindo análíticas avançadas e integração com badges como explorado por [36].

5. **LMS Consumidores LTI:** Integração com plataformas tradicionais de gestão de aprendizagem (como Moodle), certificadas Learning Tools Interoperability (LTI), para emissão e consumo de badges em fluxos institucionais.
6. **Provedor LTI de Serviços Dedicados:** Ferramentas e serviços específicos (como tutoriais interativos e sistemas tutores inteligentes) integrados via LTI para uso em disciplinas [37].
7. **Repositório de Recursos Educacionais:** Indexação semântica de recursos e serviços, facilitando descoberta e reutilização de conteúdos educacionais [38, 39].
8. **Sociedade de Assistentes Artificiais:** Agentes autônomos e benevolentes, baseados em modelos Agent-Group-Role (AGR) e Language Models (LMs), que cooperam para apoiar a trajetória acadêmica do estudante [40].
9. **Learning Companion (Portal Personalizado):** Interface personalizada do ecossistema, com dashboards, recomendações e mecanismos “fura-bolha” para diversificação de competências, [41].

4.1.2 Cenários

Para demonstrar a funcionalidade e versatilidade do sistema, bem como para introduzir novas formas de interação com o estudante, apresentamos três cenários que ilustram diferentes aspectos e perspectivas do ciclo de vida de microcredenciais.

Criação de classe em plataforma de gestão de ciclo de vida de *badges*

Esse cenário ilustra como instituições, ou seus atores, podem criar e configurar novas classes de conquistas ou credenciais por meio da plataforma *web* desenvolvida. O processo é projetado para ser intuitivo para administradores educacionais sem qualquer conhecimento técnico.

O cenário inicia quando um ator decide criar uma conquista para reconhecer um participante por atingir certos critérios. Acessando a plataforma de gestão, e através de sua carteira digital, o ator conecta-se à plataforma sem a necessidade de *login*, pois a partir daqui suas requisições conterão as devidas assinaturas para autenticar suas ações. O único conhecimento do sistema sobre o ator neste ponto é sua chave pública, e mesmo assim apenas no cliente, que utilizará desta chave para buscar e construir as páginas, tabelas e *badges* correspondentes, sem passar por um servidor próprio ou de terceiros, puramente cliente-*blockchain*.

A partir deste ponto, o fluxo na interface web segue os seguintes passos:

Verificação de Perfil: O sistema verifica automaticamente se existe um perfil de emissor registrado na blockchain. Caso não exista, apresenta um formulário solicitando a criação do perfil, que registra os metadados do emissor de forma descentralizada seguindo padrões JSON-LD.

Formulário de Achievement: Através da interface de criação de conquistas, o emissor preenche informações como nome, descrição, critérios narrativos, URL da imagem e tags descritivas do achievement.

Validação e Submissão: O formulário valida campos obrigatórios e, ao ser submetido, gera uma transação para criação do achievement na blockchain com dados serializados em formato JSON compatível com Open Badges 3.0.

Criação On-Chain: O programa blockchain deriva deterministicamente um endereço único para o achievement e armazena os metadados diretamente na rede, incluindo validação de conformidade com a especificação Open Badges.

Confirmação e Listagem: Após a confirmação da transação, a interface atualiza automaticamente, exibindo a nova conquista, permitindo sua utilização para criação de credenciais individuais (Figura 4.2).

Atribuição/conquista de *badges* em *frontend* imersivo

Podemos demonstrar como um receptor pode conquistar credenciais, não apenas em ambientes *web* tradicionais como *websites*, mas também em ambientes digitais imersivos, inovadores e/ou não tradicionais. Neste cenário o receptor interage diretamente com NPCs implementados no ambiente virtual *Decentraland* para receber credenciais, ilustrando a integração prática entre metaverso e infraestrutura *blockchain* desenvolvida.

Jeff, o estudante de Ciência da Computação, acessa o ambiente *Decentraland* através do link fornecido. O ambiente carrega automaticamente a cena virtual implementada, inicializando os NPCs.

No ambiente virtual Jeff identifica dois NPCs principais: um computador e um robô (para demonstrações adicionais que requerem uma credencial para iniciar interações). Ao aproximar-se do computador e interagir com ele, o sistema apresenta opções de diálogo para Jeff, oferecendo um fluxo com múltiplas funcionalidades:

Configuração de Carteira: O sistema gera e configura uma nova carteira digital ou recupera uma carteira previamente criada. Jeff pode também importar sua própria carteira de sistemas externos.

Criação de Conquista: Jeff seleciona a opção para criar uma nova conquista dentro do ambiente virtual. Ele pode definir o nome da conquista ou prosseguir com um padrão. Jeff confirma a criação, e os dados são registrados de forma segura na blockchain, garantindo autenticidade e rastreabilidade da nova conquista.

Emissão de Credencial: Uma vez que Jeff interage suficientemente com o ambiente virtual (critério definido no achievement "Explorador do Campus Virtual"), o sistema executa automaticamente a emissão da credencial (Figura 4.3), vinculando a conquista previamente criada para o endereço de sua carteira.

A conquista é imediatamente refletida tanto na *blockchain* quanto na representação visual do ambiente virtual, onde Jeff pode verificar sua nova credencial tanto pelo ambiente virtual quanto pelo *website*, junto a outros atores.

Verificação de *badges* em ambiente externo

Este cenário ilustra como terceiros podem verificar autenticidade e validade de credenciais emitidas através do sistema implementado, demonstrando a aplicação prática dos padrões W3C *Verifiable Credentials* e *Data Integrity Proofs* na arquitetura desenvolvida.

Seis meses após Jeff conquistar sua credencial "Explorador do Campus Virtual", ele participa de processo seletivo para uma posição em startup educacional. Durante a entrevista, menciona suas credenciais digitais blockchain como evidência de engajamento com tecnologias educacionais emergentes.

O ator recrutador, inicialmente cético, decide verificar as credenciais utilizando a interface de verificação desenvolvida. Como Jeff compartilhou o endereço público de sua credencial em seu currículo, o recrutador decide realizar o processo de verificação, que segue os seguintes passos:

Input de Dados: O verificador insere o endereço da credencial ou credencial completa em formato JSON-LD no sistema de verificação. A plataforma aceita tanto endereços blockchain quanto documentos de credencial exportados.

Validação Criptográfica: O sistema executa verificação de assinaturas digitais e valida a integridade dos dados segundo padrões W3C, verificando tanto a autenticidade dos dados quanto a autoridade do emissor através das chaves criptográficas associadas.

Verificação de Status: O sistema consulta automaticamente o status da credencial para verificar se não foi revogada, realizando verificação direta na blockchain.

Apresentação de Resultados: A interface exibe resultados detalhados incluindo status de validade, detalhes do achievement associado, informações do emissor verificado, timestamp de emissão, evidências associadas e hash de integridade como pode ser visto na Figura 4.4.

Auditoria Técnica: Para verificadores com conhecimento técnico, o sistema oferece acesso aos dados brutos da blockchain, logs de verificação criptográfica e possibilidade de re-executar validações usando ferramentas externas compatíveis com padrões W3C.

O processo completo de verificação executa em poucos segundos, oferecendo agilidade na verificação de credenciais acadêmicas. A descentralização elimina necessidade

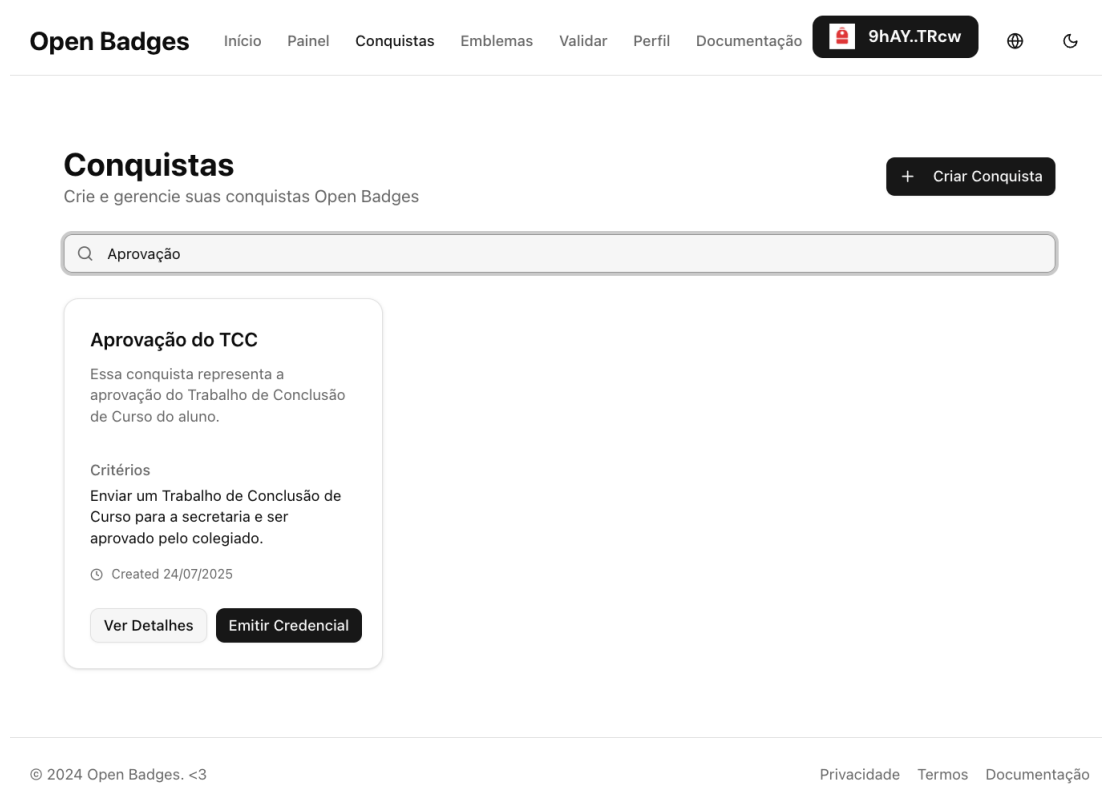


Figura 4.2: Interface Web - Conquista criada



Figura 4.3: Ambiente Decentraland - Fim de credenciamento

de contato com instituições emissoras, enquanto mantém garantias de autenticidade e integridade através da infraestrutura *blockchain*.

Open Badges Início Painel Conquistas Emblemas Validar Perfil Documentação

Validador de Emblemas

Valide credenciais Open Badges 3.0 para garantir que atendam aos padrões de especificação e verifique suas assinaturas criptográficas.

Entrada JSON Entrada de URL **Entrada de Endereço** Entrada de Assinatura

Buscar por Endereço Solana
Digite uma chave pública Solana ou DID para encontrar dados de emblemas associados

Endereço Solana ou DID
did:sol:4g22AuSafj184svCWgYjMhfv4FvSRNVLjohCzrvssA **Q Buscar**

Emblemas
Este validador verifica credenciais Open Badges 3.0 contra os requisitos de especificação:

Aprovação do TCC
Essa conquista representa a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno.

Issuer: did:sol:5XTZF4Kyx3836iNcF3B8XkLbISJqgVdB1gr7fnnUvmM Recipient: did:sol:9hAYHs5EYwtEmCWDXitwoafAGkPrMXUBgQsYmvHTRCw
Issue Date: Invalid Date

Credencial Válida
This credential passes Open Badges 3.0 validation and is cryptographically verified on the Solana blockchain.

Conformidade de Especificação e Verificação Criptográfica
Este validador verifica credenciais Open Badges 3.0 tanto em conformidade de especificação (validação) quanto em verificação criptográfica na blockchain (verificação).

- Formato JSON**
Estrutura válida de documento JSON (Validação)
- Contexto OB3.0**
Contexto JSON-LD obrigatório presente (Validação)
- Tipo de Credencial**
Possui tipo "OpenBadgeCredential" (Validação)
- Prova Criptográfica**
Assinatura digital válida na blockchain (Verificação)
- Emissor na Blockchain**
Emissor verificado na blockchain Solana (Verificação)
- Não Revogado**
Credencial não revogada na blockchain (Verificação)
- Dados da Conquista**
Estrutura de dados da conquista válida (Validação)

Figura 4.4: Interface Web - Verificação

4.1.3 Discussão

Os cenários descritos oferecem *insights* valiosos sobre a viabilidade prática de sistemas de *Open Badges* baseados em *blockchain*. Esta subseção analisa os resultados obtidos e as implicações para adoção mais ampla, considerando tanto aspectos técnicos quanto de usabilidade

Dos resultados alcançados e das limitações

Foram identificadas limitações significativas, alinhadas com desafios reportados na literatura sobre adoção de tecnologias blockchain em educação [31, 42, 29].

A dependência de chaves públicas para identificação em blockchains cria barreiras técnicas e de usabilidade adicionais às percebidas por [43]. Usuários precisam gerenciar carteiras, mnemônicos e chaves privadas, conceitos ainda estranhos para a maioria do

público educacional. Tecnologias emergentes como *Account Abstraction* e carteiras sociais representam caminhos promissores para mitigar essas limitações de usabilidade no futuro.

A arquitetura atual armazena apenas metadados essenciais na blockchain devido ao alto custo de armazenamento, dependendo de URLs para imagens e documentos complementares localizados em servidores externos, em sua grande maioria centralizados.

Embora compatível com padrões modernos, integração com sistemas educacionais existentes ainda requer desenvolvimento customizado significativo, conforme observado em outros estudos sobre interoperabilidade de credenciais digitais.

Possibilidades relativamente a demais módulos do ecossistema

A implementação bem-sucedida de *Open Badges* abre caminhos para expansão e integração com os demais componentes do ecossistema SmartUnB.ECOS, cada um oferecendo oportunidades específicas para aplicação de credenciais verificáveis segundo suas funcionalidades estabelecidas.

Agentes autônomos baseados no meta-modelo AGR, Large, Medium ou Small Language Models (LLM, MLM e SLM) ou abordagens híbridas podem auxiliar o progresso de *badges* e sugerir atividades personalizadas para conquista de credenciais específicas [40, 44]. A cooperação entre agentes permite identificação de estudantes com perfis complementares para formação de grupos de trabalho baseados em *badges* conquistados.

Integração com sistemas de Learning Management System (LMS) e Learning Record Store (LRS) de *badges* baseados em *performance* acadêmica segue tendências identificadas na literatura sobre transformação digital da educação [45]. Estudantes poderiam receber reconhecimento granular por conquistas específicas, suplementando os sistemas tradicionais, minimizando a manutenção, os contratos com terceiros e a gerência de dados, e possibilitando que o estudante tenha a posse de suas credenciais, que poderá utilizar ao longo da vida.

Plataformas tradicionais como Moodle podem integrar-se via LTI para emissão automática de *badges* baseada em conclusão de atividades, notas obtidas ou participação em fóruns. A certificação LTI garante interoperabilidade, permitindo que diferentes LMS institucionais contribuam para o ecossistema de credenciamento sem modificações estruturais significativas.

A instância Friendica, ou outras instâncias de redes sociais descentralizadas, podem incorporar *badges* como elementos nativos de perfil. Estudantes poderiam exibir conquistas diretamente em suas redes sociais acadêmicas, facilitando descoberta de competências por pares e criando dinâmicas de reconhecimento social baseadas em mérito verificável.

Infraestrutura de Personal Online Datastores (POD) [30] para resguardar privacidade de dados oferece local ideal para armazenamento pessoal de credenciais, alinhando-se com

preocupações crescentes sobre privacidade e vigilância em ambientes educacionais [15]. Usuários mantêm controle total sobre *badges* conquistados, decidindo autonomamente quais credenciais compartilhar e com quem, seguindo filosofia de soberania de dados.

Sistemas de educação a distância poderiam emitir *badges* para marcos específicos: conclusão de módulos, participação em fóruns, qualidade de submissões. Esta granularidade oferece *feedback* mais rico que simples certificados tradicionais.

Parcerias com a indústria para criar caminhos de credenciamento que conectem educação formal a competências profissionais. Empregadores poderiam definir *badges* específicos para suas necessidades, enquanto universidades desenvolvem programas para ajudar estudantes a conquistá-los.

Reconhecimento de atividades voluntárias, liderança estudantil, organização de eventos. Essas atividades, frequentemente subvalorizadas em contextos acadêmicos tradicionais, poderiam ganhar reconhecimento formal através de *badges*.

A natureza interoperável e aberta da implementação facilita integração entre módulos. Credenciais conquistadas em diferentes contextos podem compor *portfolios* holísticos que refletem a amplitude de experiências estudantis. Algoritmos de *matching* poderiam sugerir oportunidades baseadas em *badges* já conquistados, criando caminhos de desenvolvimento personalizados.

Capítulo 5

Conclusão

5.1 Conclusão

Este trabalho apresentou a integração entre as tecnologias de *blockchain* e *Open Badges* 3.0 para criar um sistema de credenciamento educacional descentralizado, verificável e centrado no estudante. A proposta foi contextualizada no âmbito do ecossistema SmartUnB.ECOS, demonstrando a viabilidade técnica e prática da solução através de cenários de uso concretos que abrangem desde a criação de credenciais até sua verificação por terceiros.

5.1.1 Objetivos alcançados

A implantação da especificação *Open Badges* 3.0 sobre a *blockchain* Solana demonstrou capacidade efetiva de emitir, gerenciar e verificar credenciais conforme os padrões internacionais, mantendo compatibilidade com as especificações W3C de *Verifiable Credentials* e garantindo interoperabilidade com outros sistemas digitais.

O desenvolvimento de interfaces alternativas foi outro êxito significativo do projeto. A demonstração da interoperabilidade entre diferentes interfaces valida a flexibilidade da arquitetura, permitindo a criação de novas e intuitivas formas de interação para diferentes perfis de usuários, desde emissores institucionais até verificadores externos, removendo barreiras técnicas que tradicionalmente dificultam a adoção de tecnologias *blockchain* em contextos educacionais. A arquitetura cliente-*blockchain* eliminou a necessidade de servidores intermediários, garantindo maior descentralização e reduzindo custos operacionais.

A integração com ambientes imersivos, exemplificada pela implementação no *Decentraland*, revelou potencial transformador para a experiência educacional. Esta demonstração evidenciou como credenciais digitais podem transcender interfaces tradicionais, oferecendo

contextos inovadores de interação e visualização que podem engajar estudantes de formas até então inexploradas no credenciamento acadêmico.

5.1.2 Trabalhos futuros

As direções futuras concentram-se em aprofundar aspectos que emergiram como oportunidades durante o desenvolvimento. A integração com *Solid Pods* [30] junto a técnicas de *selective disclosure*, como explorado por [46], representa uma evolução natural para aumentar a capacidade de gerência do usuário sobre seus dados, garantindo que mantenham controle absoluto.

O desenvolvimento de sistemas baseados em *badges* conquistados oferece oportunidades para interagir em ecossistemas educacionais de forma mais dinâmica e personalizada. Algoritmos e agentes podem gerar sistemas inteligentes que interagem entre si em nome do estudante, facilitando o *matching* entre estudantes e oportunidades acadêmicas ou profissionais baseado em competências verificadas e interesses demonstrados.

A expansão da interoperabilidade institucional através de protocolos LTI e APIs padronizadas representa um caminho essencial para adoção em larga escala. Esta direção pode permitir que instituições educacionais integrem sistemas semelhantes às suas infraestruturas existentes sem necessidade de modificações estruturais disruptivas, facilitando a transição gradual para modelos de credenciamento descentralizado.

Referências

- [1] IMS Global Learning Consortium: *Open badges v3.0 specification*. <https://www.imsglobal.org/spec/ob/v3p0>, December 2024. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. viii, 3, 11, 12
- [2] Nakamoto, Satoshi: *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, 2008. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. viii, 4
- [3] DID: *Decentralized identifiers (dids) v1.1*. <https://www.w3.org/TR/did-1.1/>, July 2025. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. viii, 7
- [4] Decentraland: *Decentraland white paper 2.0*. <https://decentraland.org/whitepaper2.pdf>, 2024. Disponível online; acessado em 23 de julho de 2025. viii, 8, 10
- [5] Nóbrega, Germana Menezes da, Gabriel Silva e Thiago Silva: *Um projeto estruturante para orientações de tcc em cursos de computação: que oportunidades para ihc?* Em *Anais do XIII Workshop sobre Educação em IHC*, páginas 19–24, Porto Alegre, RS, Brasil, 2022. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/weihc/article/view/22854>. viii, 2, 12
- [6] Chainspect: *Solana [tps, max tps, block time & ttf] | chainspect*. <https://chainspect.app/chain/solana>, 2025. Disponível online; acessado em 20 de julho de 2025. ix, 9
- [7] Chainspect: *Ethereum [tps, max tps, block time & ttf] | chainspect*. <https://chainspect.app/chain/ethereum>, 2025. Disponível online; acessado em 20 de julho de 2025. ix, 9
- [8] Vural, Turan, Yuki Yuminaga, Alex Petrosyan e Ben Livshits: *Maxing out the svm: Performance impact of memory and program cache sizes in the agave validator*, 2025. <https://arxiv.org/abs/2505.04129>. ix, 8, 9
- [9] Li, Xiangyu, Xinyu Wang, Tingli Kong, Junhao Zheng e Min Luo: *From bitcoin to solana – innovating blockchain towards enterprise applications*. Em *Blockchain – ICBC 2021: 4th International Conference, Held as Part of the Services Conference Federation, SCF 2021, Virtual Event, December 10–14, 2021, Proceedings*, página 74–100, Berlin, Heidelberg, 2021. Springer-Verlag, ISBN 978-3-030-96526-6. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96527-3_6. ix, 8, 9

- [10] Yakovenko, Anatoly: *Solana: A new architecture for a high performance blockchain*. <https://solana.com/solana-whitepaper.pdf>, 2020. ix, 1, 9, 11
- [11] Solana Labs: *Transaction fees on solana*. https://docs.solana.com/transaction_fees, January 2024. ix, 9
- [12] Solana Labs: *Solana performance metrics and technical specifications*. <https://docs.solana.com/cluster/metrics>, January 2024. ix, 9
- [13] Ethereum Foundation: *Ethereum 2.0 scalability analysis*. <https://ethereum.org/en/developers/docs/scaling/>, December 2023. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. ix, 7, 9
- [14] Song, Han, Yihao Wei, Zhongche Qu e Weihang Wang: *Unveiling decentralization: A comprehensive review of technologies, comparison, challenges in bitcoin, ethereum, and solana blockchain*. Em *2024 IEEE 6th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, volume 6, páginas 1896–1901, 2024. ix, 8, 9
- [15] Beetham, Helen, Amy Collier, Laura Czerniewicz, Brian Lamb, Yuwei Lin, Jen Ross, Anne Marie Scott e Anna Wilson: *Surveillance practices, risks and responses in the post pandemic university*. *Digital Culture and Education*, 14(1):16–37, fevereiro 2022, ISSN 1836-8301. 1, 19
- [16] Moriguchi, Chiaki, Yusuke Narita e Mari Tanaka: *Meritocracy and its discontents: Long-run effects of repeated school admission reforms*. <https://arxiv.org/abs/2402.04429>, 2025. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. 1
- [17] Mikroyannidis, Alexander, Allan Third e John Domingue: *A case study on the decentralisation of lifelong learning using blockchain technology*. *Journal of Interactive Media in Education*, 2020(1), 2020, ISSN 1365-893X. <http://dx.doi.org/10.5334/jime.591>. 1, 5, 11
- [18] IBM: *Ibm digital badge program*. <https://www.ibm.com/training/badges>, 2023. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. 1, 4
- [19] Mainetti, Luca, Roberto Paiano, Matteo Pedone, Marco Quarta e Elton Dervishi: *Digital brick: Enhancing the student experience using blockchain, open badges and recommendations*. *Education Sciences*, 12(8), 2022, ISSN 2227-7102. <https://www.mdpi.com/2227-7102/12/8/567>. 1, 5
- [20] Mozilla Foundation: *Open badges for lifelong learning*. <https://wiki.mozilla.org/Badges>, September 2011. Disponível online; acessado em 19 de julho de 2025. 3
- [21] VC-DATA-MODEL-2.0: *Verifiable credentials data model v2.0*. <https://www.w3.org/TR/vc-data-model-2.0/>, julho 2025. Recomendação Candidata do W3C; acessado em 19 de julho de 2025. 3, 11
- [22] OpenScience: *Unveiling nasa’s open science 101: Your pathway to open science excellence*. <https://www.cos.io/blog/nasa-open-science-101>, 2023. Disponível online; acessado em 4 de julho de 2025. 4

- [23] EPDC, NASA: *Community event: Nasa epdc: Virtual learning: Digital badges for educators and students*. <https://stemgateway.nasa.gov/connects/s/community-events/a11t000000CNxbXAAT/nasa-epdc-virtual-learning-digital-badges-for-educators-and-students>, 2022. Disponível online; acessado em 4 de julho de 2025. 4
- [24] Grech, Alexander e Anthony F. Camilleri: *Blockchain in education*. Em *JRC Science for Policy Report*. Publications Office of the European Union, 2017. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC108255>. 4
- [25] Lizcano, David, Juan A. Lara, Bebo White e Susan Lewis: *Blockchain-based approach to create a model of trust in open and ubiquitous higher education*. Journal of Computer and System Sciences, 109:1–17, may 2020, ISSN 1096-751X. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcss.2020.02.002>. 4
- [26] Wang, Yan, Xin Cong, Lingling Zi e Qiuyan Xiang: *Blockchain for credibility in educational development: Key technology, application potential, and performance evaluation*. Security and Communication Networks, 2023:1–17, maio 2023, ISSN 1939-0114. <http://dx.doi.org/10.1155/2023/5614241>. 5
- [27] Deenmahomed, Haïdar A. M., Micheal M. Didier e Roopesh K. Sungkur: *The future of university education: Examination, transcript, and certificate system using blockchain*. Computer Applications in Engineering Education, 29(5):1234–1256, janeiro 2021, ISSN 1099-0542. <http://dx.doi.org/10.1002/cae.22381>. 5
- [28] Ahsan, Kamrul, Suraiyah Akbar, Booi Hon Kam e Muhammad Dan Asabe Abdulrahman: *Implementation of micro-credentials in higher education: A systematic literature review*. Education and Information Technologies, páginas 1–36, 2023. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257874182>. 5
- [29] Alt, Dorit: *Who benefits from digital badges? motivational precursors of digital badge usages in higher education*. Current Psychology, 42(8):6629–6640, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02002-0>. 5, 17
- [30] Capadisli, Sarven, Tim Berners-Lee e Kjetil Kjernsmo: *Solid protocol*. <https://solidproject.org/TR/2024/protocol-20240512>, May 2024. Relatório de Grupo Comunitário em Rascunho, versão 0.11.0; acessado em 19 de julho de 2025. 8, 12, 18, 21
- [31] Hartnett, Maggie Katherine: *How and why are digital badges being used in higher education in new zealand?* Australasian Journal of Educational Technology, 37(3):104–118, 2021. Mixed-methods study exploring digital badge adoption across New Zealand universities, identifying benefits, challenges, and implementation strategies. 11, 17
- [32] Anchor: *Introduction*. <https://www.anchor-lang.com/docs>, 2025. Disponível online; acessado em 21 de julho de 2025. 11
- [33] React: *React*, 2025. <https://react.dev/>, [Online; accessed 2025-07-21]. 11

- [34] Jardi, Yemel, Karolina Sanchewska, Kim Currier, Álvaro Luque Pilero, Nico Earnshaw, Nacho Mazzara, Matías Pentreath, Nicolas Rajcovich Anton e Aga Besz: *Re-defining digital ownership and the future of the internet: Decentraland white paper 2.0*. <https://decentraland.org/whitepaper2.pdf>, 2024. Executive Director: Yemel Jardi. Contributors: Karolina Sanchewska, Kim Currier, Álvaro Luque Pilero, Nico Earnshaw, Nacho Mazzara, Matías Pentreath, Nicolas Rajcovich Anton, Aga Besz. Original White Paper Authors: Esteban Ordano, Ari Meilich, Manuel Araoz, Yemel Jardi. 11
- [35] Yeung, Ching man Au, Ilaria Liccardi, Kanghao Lu, Oshani Seneviratne e Tim Berners-Lee: *Decentralization: The Future of Online Social Networking*, página 187–199. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1ª edição, 2023, ISBN 9798400707940. <https://doi.org/10.1145/3591366.3591383>. 12
- [36] Ocheja, Patrick... [et al.]: *Connecting decentralized learning records: A blockchain based learning analytics platform*. Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge, páginas 265–269, 2018. <https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/231940?locale=en>. 12
- [37] Aleven, Vincent, Jonathan Sewall, Octav Popescu, Michael Ringenberg, Martin van Velsen e Sandra Demi: *Embedding intelligent tutoring systems in moocs and e-learning platforms*. Em Micarelli, Alessandro, John Stamper e Kitty Panourgia (editores): *Intelligent Tutoring Systems*, páginas 409–415, Cham, 2016. Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-39583-8. 13
- [38] Nóbrega, G. e F. Lima: *Aprendizagem da informática na educação por questionamento e modelagem a partir da web*. Em *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 8, página 843, 2019. 13
- [39] Nóbrega, G. M. d., G. G. d. Araújo e F. W. Cruz: *Towards collaborative ontology construction for learning computer science in education*. Em *2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, páginas 305–307. IEEE, 2021. 13
- [40] Roussille, Hector, Onder Gurcan e Fabien Michel: *Agr4bs: A generic multi-agent organizational model for blockchain systems*. Big Data and Cognitive Computing, 6(1), 2022, ISSN 2504-2289. <https://www.mdpi.com/2504-2289/6/1/1>. 13, 18
- [41] Haim, Mario, Andreas Graefe e Hans Bernd Brosius: *Burst of the filter bubble?* Digital Journalism, 6(3):330–343, 2018. <https://doi.org/10.1080/21670811.2017.1338145>. 13
- [42] Randall, Daniel L. e Richard E. West: *Who cares about open badges? an examination of principals' perceptions of the usefulness of teacher open badges in the united states*. Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning, 37(1):65–83, 2022. <https://doi.org/10.1080/02680513.2020.1752166>. 17
- [43] Pitt, Caroline, Adam Bell, Edgar Onofre e Katie Davis: *A badge, not a barrier: Designing for—and throughout—digital badge implementation*. Proceedings of the 2019

CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, páginas 1–14, 2019. Multi-year participatory design study identifying sociotechnical, sociocultural, and technical challenges in digital badge implementation. 17

- [44] Zawacki-Richter, Olaf, Victoria I. Marín, Melissa Bond e Franziska Gouverneur: *Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education –where are the educators?* International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16(1):39, 2019. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>. 18
- [45] Khan, Mohammed Arshad, Vivek Vivek, Mohammed Kamalun Nabi, Maysoon Khojah e Muhammad Tahir: *Students’ perception towards e-learning during covid-19 pandemic in india: An empirical study*. Sustainability, 13(1):57, dezembro 2020, ISSN 2071-1050. <http://dx.doi.org/10.3390/su13010057>. 18
- [46] Mikroyannidis, Alexander, Aisling Third e John Domingue: *Blockchain-based decentralised micro-accreditation for lifelong learning*. Interactive Learning Environments, 33(3):2201–2215, 2025. <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2401485>. 21