

Blockchain e Segurança de Indicadores Ambientais

Gustavo Leite¹, Bernardo Alcalde¹, Thiago Rossi¹,
Carlos Oliveira², Victor Souza², Wilson Melo²

¹Instituto Ecosystems – Porto Alegre – RS

²Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade, e Tecnologia – Duque de Caxias – RJ

E-mail contato: gustavo.leite@ecosystem.com.br

1. Em busca de uma solução para confiabilidade de indicadores ambientais

O planeta enfrenta uma crise ambiental sem precedentes, caracterizada por mudanças climáticas aceleradas, perda de biodiversidade e níveis críticos de poluição. O conceito dos “limites planetários” indica que diversas fronteiras ecológicas já foram ultrapassadas, colocando em risco a estabilidade dos sistemas que sustentam a vida humana [Rockström et al. 2009]. Relatórios recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas reforçam a urgência de ações coordenadas e integradas para mitigar esses impactos e promover sustentabilidade [IPCC 2021]. Atrelada ao contexto de crise, a multiplicação de sistemas de monitoramento, o maior desafio não é mais obter informação, mas garantir sua rastreabilidade, legitimidade, segurança e padronização, sem comprometer a capacidade de agir em tempo hábil. Governos, empresas e comunidades enfrentam um paradoxo: quanto mais dados se acumulam, maior o risco de ineficiência decisória, sobrecarga operacional e desconfiança sistêmica. Este resumo estendido apresenta uma solução desenvolvida pelo Instituto Ecosystems, em parceria com pesquisadores do Inmetro, para o registro confiável de indicadores ambientais utilizando blockchain e assinatura digital na origem dos dados. A solução é capaz de integrar dispositivos autônomos de coleta de dados, combinando armazenamento *on-chain* e *off-chain*. Com isso, garante integridade, rastreabilidade e segurança dos dados associados a indicadores ambientais, reduzindo a dependência de intermediários e fortalecendo a confiança em projetos de monitoramento ambiental.

2. Solução baseada em blockchains e assinatura digital

A Figura 1 ilustra a arquitetura de referência desenvolvida pelo Instituto Ecosystems. Dispositivos remotos assinam digitalmente cada leitura, enviam-nas via API a um repositório *off-chain* e registram apenas *hashes* ou eventos-chave no *blockchain* para garantir imutabilidade e auditabilidade [Fang et al. 2020]. Esse modelo *Device-as-a-Service* integra módulos criptográficos nos dispositivos, criando um serviço de assinatura digital que alinha incentivos para manutenção contínua e atualização de *firmware* seguro [Zhou et al. 2023]. A tokenização de ativos ambientais converte métricas verificáveis em tokens digitais negociáveis, com contratos inteligentes que liberam recursos conforme metas são atingidas. A agregação de um blockchain garante auditoria em tempo real, transparência e evita dupla contagem, conectando governos, empresas, ONGs e comunidades num ecossistema de confiança. Isso reduz assimetrias de informação, amplia a liquidez do mercado socioambiental e permite que comunidades comprovem e monetizem ações de conservação de forma justa, alinhando incentivos locais a metas globais de sustentabilidade. O projeto foi implementado como uma rede permissionada, utilizando

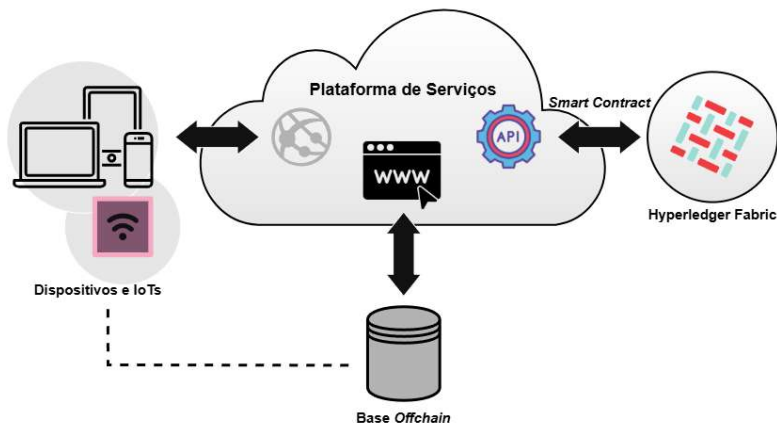


Figura 1. Arquitetura da solução de segurança de indicadores ambientais.

a plataforma Hyperledger Fabric ¹. A aplicação desenvolvida implementa os mecanismos de segurança explicitamente na comunicação entre um módulo cliente e o contrato inteligente executado dentro do blockchain. Os testes com a plataforma desenvolvida foram executados por meio de dados simulados por um dispositivo IoT em bancada, utilizando um sensor de temperatura DHT-22, conectado a um Raspberry 3B+.

3. Diferenciais da solução e próximos passos

A solução blockchain descrita permite ao Instituto Ecosis oferecer às indústrias e empresas um gerenciamento seguro, escalável e auditável de dados ambientais. A arquitetura híbrida *on-chain/off-chain* reduz custos de implementação, sem comprometer integridade, garantindo rastreabilidade via assinaturas digitais aplicadas na coleta de indicadores. Isso assegura conformidade regulatória, validação de créditos ambientais e monetização via modelo *Device-as-a-Service*. Futuros desenvolvimentos devem incluir a integração entre IoT e Inteligência Artificial, possibilitando o monitoramento em tempo real e análises preditivas de indicadores, e otimizando respostas a eventos críticos. Entendemos que esta solução, além de eficiência operacional, promove confiança entre atores e amplia a inclusão de comunidades em mercados ambientais globais.

Agradecimentos

Este trabalho contou com recursos do CNPq, processo 303373/2023-7.

Referências

- Fang, W., Chen, W., Zhang, W., Pei, J., Gao, W., and Wang, G. (2020). Digital signature scheme for information non-repudiation in blockchain: a state of the art review. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020(1):1–12.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge Press.
- Rockström, J. et al. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*.
- Zhou, Y. et al. (2023). A blockchain-based privacy-preserving and fair data transaction framework. *Applied Sciences*, 13(22):12389.

¹<https://hyperledger-fabric.readthedocs.io>