



Tokenização dos créditos de carbonos e a sustentabilidade da blockchain

17/02/2026

Tokenização e promessa de integridade

A necessidade urgente de descarbonizar a atmosfera global e cumprir as metas do Acordo de Paris impulsionou o crescimento dos mercados de carbono, tanto obrigatórios quanto voluntários [1]. Nesse contexto, a inovação financeira, especificamente através das Finanças Regenerativas (ReFi), tem buscado utilizar a tecnologia *blockchain* e a *Web 3.0* para financiar projetos sustentáveis e regenerativos de forma descentralizada [2].

A promessa da tokenização, a criação de uma representação digital (token) de um ativo em uma *distributed ledger* (tecnologia de registro distribuído), reside na sua capacidade de resolver ineficiências crônicas do mercado de carbono tradicional, como a opacidade, a fragmentação e os altos custos de intermediação [3]. A tecnologia oferece um registro imutável e transparente de emissão, negociação e aposentadoria de créditos, democratizando o acesso a ativos climáticos e introduzindo utilidade programável por meio de contratos inteligentes [4].

Contudo, a adoção da *blockchain* não é isenta de contradições. De acordo com Tlili, estudos empíricos indicam que a tokenização, embora inovadora, não aumenta automaticamente a eficiência ou a confiança do mercado, em alguns casos, pode gerar reações adversas nos preços devido à incerteza ou à percepção de ineficiências subjacentes [5].

Portanto, a transição para uma infraestrutura *on-chain* exige uma análise crítica sobre se a própria tecnologia sustenta ou corrói a integridade ambiental que se propõe a defender.

Camadas de integridade do crédito de carbono

Para que um crédito de carbono seja válido, ele deve corresponder a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) removida ou evitada. A qualidade desse ativo depende de características fundamentais, que vão desde a adicionalidade (o projeto não ocorreria sem o incentivo do crédito), não superestimação, permanência e a não reivindicação por outra entidade [6].

Atualmente, o mercado voluntário tem enfrentado desafios significativos de integridade. A falta de padronização global e a dificuldade de rastreabilidade despertam desconfiança no mercado, resultando em preços heterogêneos e no risco de “*zombie credits*”, créditos que já perderam seu valor físico (por exemplo, uma floresta queimada) mas continuam em circulação [7]. Exigindo, portanto, que a integridade dependa de uma cadeia de custódia consistente e de mecanismos de Medição, Relato e Verificação (MRV) que garantam que o ativo digital corresponda, em tempo real, à realidade física do projeto ambiental [8].

Tokenização como camada adicional de risco

Embora a tokenização de créditos de carbono venha sendo apresentada como solução tecnológica capaz de ampliar rastreabilidade, transparência e eficiência transacional no mercado de carbono, especialmente no segmento voluntário, é necessário reconhecer que tais benefícios se concentram na camada de circulação do ativo, e não necessariamente em sua integridade ambiental de origem.

A tokenização atua como uma ponte entre o mundo físico e o digital, criando um “gêmeo digital” do crédito de carbono [9]. No entanto, essa camada tecnológica adiciona novos riscos. Tokenizar um crédito de baixa qualidade ou fraudulento não melhora sua qualidade, apenas aumenta sua liquidez, permitindo que ativos duvidosos circulem mais rapidamente.

Conforme Tlili, (2025) empiricamente, observou-se que a introdução da tokenização pode ter um efeito negativo nos preços dos tokens de carbono em comparação com seus pares tradicionais, sugerindo que o mercado pode interpretar a tokenização não como um sinal de qualidade, mas como uma introdução de incerteza ou exposição a ineficiências de governança [10]

Além disso, a fragmentação da liquidez em diferentes *blockchains* e a falta de interoperabilidade podem criar novos silos, (*pools* de liquidez fragmentados que surgem quando os créditos de carbono tokenizados existem em várias *blockchains* diferentes sem comunicação entre si) replicando os problemas dos registros legados que a tecnologia prometia resolver.

Blockchain e sustentabilidade: consumo energético como fator de integridade climática

Neste contexto, um ponto crítico na governança climática de ativos tokenizados é a pegada ecológica da própria infraestrutura *blockchain*. Uma vez que existe um paradoxo em utilizar redes energeticamente intensivas para transacionar ativos destinados a mitigar as mudanças climáticas.

Redes baseadas em *Proof of Work* (PoW), como o Bitcoin, consomem quantidades massivas de energia, superando o consumo anual de países inteiros, o que levanta questões éticas e ambientais sobre sua adequação para finanças verdes [11]. Em contrapartida, mecanismos de consenso *Proof of Stake* (PoS), adotados por redes como a *Ethereum* após sua atualização, consomem cerca de 99,95% menos energias.

Diante disso, para a preservação da integridade ambiental do ativo, é imperativo que projetos de carbono evitem *blockchains* baseadas em PoW. A utilização de mecanismos de consenso limpos/sustentáveis não deve ser apenas uma escolha técnica, mas um requisito essencial para a criação de uma cadeia de integridade para projetos de Finanças Regenerativas (ReFi). Pois, a

Spacca



sustentabilidade da infraestrutura digital deve ser considerada parte integrante da qualidade do crédito de carbono tokenizado.

Riscos jurídicos: *claims*, governança, interoperabilidade, dupla contagem

A segurança jurídica e a governança são pilares para a viabilidade dos créditos tokenizados. Um dos maiores riscos do crédito de carbono é a dupla contagem (*double spending*), onde o mesmo crédito é reivindicado por duas entidades ou vendido em mercados distintos. Embora a *blockchain*, por design, evite o gasto duplo do token, ainda existe um risco na desconexão entre o token e o crédito no registro legado. Para mitigar isso, faz-se necessário um mecanismo de “ponte bidirecional” rigoroso, onde o crédito físico é bloqueado ou aposentado no registro de origem no momento da tokenização [12].

No contexto brasileiro, a Lei nº 15.042/2024, que instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), sugere que a tokenização não altera a natureza jurídica do ativo (seja ele um valor mobiliário ou um fruto civil), funcionando como uma representação digital que agrega rastreabilidade [13]. Contudo, a falta de padronização internacional e a incerteza regulatória sobre a custódia e a classificação desses ativos (como *commodities* ou valores mobiliários) continuam sendo barreiras para a adoção institucional.

Além disso, a interoperabilidade é crucial. Com créditos existindo em várias cadeias, padrões como o *Cross-Chain Interoperability Protocol* (CCIP) são vitais para conectar *pools* de liquidez fragmentados e garantir que a aposentadoria de um crédito em uma rede seja refletida globalmente.

Necessidade de criação de uma cadeia climática de integridade para tokenização

Para mitigar o risco de que a inovação tecnológica amplie fragilidades existentes ou introduza novas vulnerabilidades ao mercado, é imperativo o estabelecimento de uma cadeia climática de integridade baseada em diretrizes de governança sólidas.

O primeiro pilar dessa estrutura reside na eficiência energética da rede. Existe uma contradição inerente em utilizar infraestruturas digitais intensivas em consumo de energia para transacionar ativos cujo propósito é a mitigação climática.

Portanto, a tokenização deve ocorrer primordialmente em *blockchains* que operem sob mecanismos de consenso de baixo consumo energético, como o *Proof of Stake* (PoS), ou em redes comprovadamente neutras em carbono.

A insistência em tecnologias poluidoras, como o *Proof of Work* (PoW), para fins de finanças regenerativas é considerada irrazoável, pois compromete a coerência ambiental do projeto e gera um paradoxo reputacional para o mercado.

Além da sustentabilidade da infraestrutura, a qualidade do ativo depende intrinsecamente da sua integração fidedigna com dados do mundo real. Como as *blockchains* não possuem acesso nativo a dados externos, a simples tokenização não garante a veracidade das informações

ambientais subjacentes.

Para assegurar que o token reflita a realidade física do projeto em tempo real, evitando discrepâncias entre o ativo digital e o impacto ambiental efetivo, é essencial o uso de oráculos descentralizados. Essas ferramentas tecnológicas alimentam contratos inteligentes com dados de Medição, Relato e Verificação (MRV) provenientes de fontes auditáveis, como sensores *IoT* instalados em áreas de reflorestamento e imagens de satélite, garantindo a monitoração contínua da integridade ecológica do projeto [14].

A segurança operacional do mercado exige, ainda, a implementação de mecanismos de ponte auditáveis que conectem o ambiente *on-chain* aos registros tradicionais. Para prevenir a dupla contagem, onde o mesmo benefício ambiental é reivindicado por múltiplas partes, é necessária a implementação de pontes bidirecionais automatizadas que garantam o bloqueio efetivo ou a aposentadoria do crédito no registro de origem (*legacy registry*) no exato momento da tokenização.

Tecnologias de auditoria em tempo real, como a Prova de Reserva (*Proof of Reserve*), são fundamentais para assegurar matematicamente que o volume de tokens em circulação corresponda, a qualquer momento, aos ativos custodiados fora da cadeia, impedindo a criação de valor sem lastro ambiental.

Por fim, a sustentabilidade econômica e a legitimidade desse novo mercado dependem de elevados padrões de transparência e governança. De acordo com Tlili, a tokenização, se percebida como uma camada de complexidade sem clareza, pode gerar desconfiança e reduzir o valor de mercado dos ativos. Para combater a opacidade e mitigar riscos de *greenwashing*, é crucial a adoção de regras claras de divulgação e auditoria, bem como o alinhamento estrito com padrões internacionais de qualidade, como os *Core Carbon Principles*.

Assim, para que a tokenização contribua positivamente para o mercado de carbono, é necessário tratá-la como mecanismo de governança e não apenas como inovação tecnológica. A preservação da integridade do crédito exige diretrizes claras: eficiência energética, interoperabilidade com registros, mecanismos sólidos de aposentadoria, auditoria e *accountability*. Sem tais condições, a tokenização pode se converter em fator de fragmentação e enfraquecimento da confiança, comprometendo o papel do mercado de carbono como instrumento de mitigação climática.

Referências bibliográficas

ALLAHGHOLI, Aschkan. Tokenization of Voluntary Carbon Markets and Its Potential for Financial Inclusion. In: HOVEN, Ingrid-Gabriela; IN, Soh Young; PUSCHMANN, Thomas (Eds.). Sustainable Digital Finance: Financial Innovation and Technology. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 89-102.

CHAINLINK. Tokenized Carbon Credits: Bringing Climate Assets Onchain. 30 jan. 2026. Disponível em: <https://chain.link/education>. Acesso em: 10 out. 2026.1

FIGUEIREDO, Rafael Lima de. Finanças regenerativas e a tokenização do mercado de carbono: como a blockchain pode contribuir para a integridade de projetos sustentáveis? 2025. 100 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Direito) – Escola de Direito de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2025.

OZILI, Peterson K. Sustainable Digital Finance: Where We Are Now and Where We Need to Be. *In*: HOVEN, Ingrid-Gabriela; IN, Soh Young; PUSCHMANN, Thomas (Eds.). Sustainable Digital Finance: Financial Innovation and Technology. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 3-18.

SWINKELS, Laurens. Trading carbon credit tokens on the blockchain. *International Review of Economics and Finance*, v. 91, p. 720-733, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.01.012>.

TLILI, Haykel. Blockchain and tokenized carbon markets: Empirical evidence on market efficiency and transaction dynamics. *Sustainable Futures*, v. 10, art. 101109, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101109>.

[1] ALLAHGHOLI, Aschkan. Tokenization of Voluntary Carbon Markets and Its Potential for Financial Inclusion. *In*: HOVEN, Ingrid-Gabriela; IN, Soh Young; PUSCHMANN, Thomas (Eds.). Sustainable Digital Finance: Financial Innovation and Technology. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 89-102.

[2] FIGUEIREDO, Rafael Lima de. Finanças regenerativas e a tokenização do mercado de carbono: como a blockchain pode contribuir para a integridade de projetos sustentáveis? 2025. 100 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Direito) – Escola de Direito de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2025.

[3] SWINKELS, Laurens. Trading carbon credit tokens on the blockchain. *International Review of Economics and Finance*, v. 91, p. 720-733, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.01.012>.

[4] CHAINLINK. Tokenized Carbon Credits: Bringing Climate Assets Onchain. 30 jan. 2026. Disponível em: <https://chain.link/education>. Acesso em: 10 out. 2026.

[5] TLILI, Haykel. Blockchain and tokenized carbon markets: Empirical evidence on market efficiency and transaction dynamics. *Sustainable Futures*, v. 10, art. 101109, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101109>.

[6] SWINKELS, *op. cit.*

[7] OZILI, Peterson K. Sustainable Digital Finance: Where We Are Now and Where We Need to Be. *In*: HOVEN, Ingrid-Gabriela; IN, Soh Young; PUSCHMANN, Thomas (Eds.). Sustainable Digital Finance: Financial Innovation and Technology. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. p. 3-18

[8] FIGUEIREDO, *op. cit.*



[9] CHAINLINK., *op cit.*

[10] TLILI, *op. cit.*

[11] OZILI, *op. cit.*

[12] CHAINLINK, *op. cit.*

[13] FIGUEIREDO, *op. cit.*

[14] CHAINLINK, *op. cit.*

Fonte: <https://conjur.jumps.com.br/2026-fev-17/tokenizacao-dos-creditos-de-carbonos-e-a-sustentabilidade-da-blockchain/>